

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-290428

(43) 公開日 平成4年(1992)10月15日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/302	C	7353-4M		
B 0 1 J 19/08	H	6345-4G		
C 2 3 C 16/50		7325-4K		
H 0 1 L 21/302	F	7353-4M		
21/31	C	8518-4M		

審査請求 未請求 請求項の数131全 32 頁、最終頁に続く

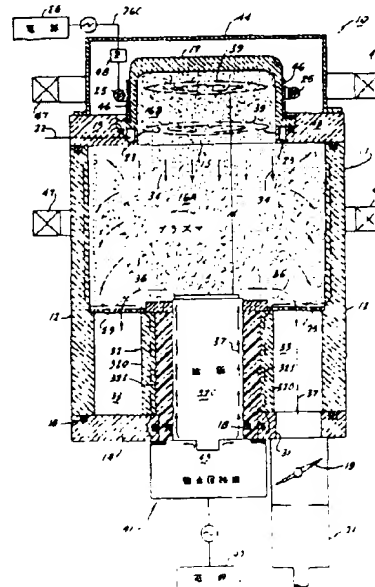
(21) 出願番号	特願平3-318865	(71) 出願人	390040650 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
(22) 出願日	平成3年(1991)12月3日	(72) 発明者	ケニス エス コリンズ アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95112 サン ホセ ース ナインティーン ストリート 371
(31) 優先権主張番号	0 7 1 6 2 4 7 4 0	(74) 代理人	弁理士 中村 稔 (外2名)
(32) 優先日	1990年12月3日		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	0 7 1 6 2 6 0 5 0		
(32) 優先日	1990年12月7日		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 UHF/VHF共振アンテナ供給源を用いたプラズマリアクタ及びその方法

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、損傷なしに且つ微細なローディングなしに、鋭敏なデバイスの処理を可能にし、歩どまりを向上すること。

【構成】 プラズマ反応装置10は、RFエネルギーによって励振されるリングアンテナ25を利用し、このリングの内側に円偏電磁波を発生する。リングの内側において、この波は、横方向の円形電界および縦方向の磁界を有する。静止磁界をこの電磁界と共に用いることができる。誘電体ドーム17に隣接して配置すると、上記の装置は、金属、誘電体および半導体材料をエッチングするための真空チャンバ内に高密度、低エネルギーのプラズマを生成する。共振状態（アンテナを励起周波数との共振に同調し且つ磁界を励磁周波数との共振に同調する）で操作すると、プラズマ密度を最大にすることができる。ウェーハ5の支持電極に印加されるバイアスエネルギーが陰極シース電圧を制御し、且つイオンエネルギーを制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空チャンバと、半導体ウェーハ等の物体を支持するために真空チャンバ内に設けられる手段と、プロセス気体をチャンバ内に供給する手段とチャンバ内にプラズマを生成するためにチャンバ内に高周波だ円偏電磁エネルギーを結合する手段とを備えることを特徴とするRFプラズマ処理装置。

【請求項2】 前記結合手段は、一重のほぼ閉じたループの共振アンテナであることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項3】 前記結合手段は、一重のほぼ閉じたループの共振アンテナであり、且つ該装置が高周波電磁エネルギーの電界成分のチャンバ内への直接結合を防ぐためにアンテナとチャンバの間に導電性シールドを含むことを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項4】 前記結合手段は、多重のほぼ閉じたループの共振アンテナであり、且つ該装置が、高周波電磁エネルギーの電界成分のチャンバ内への直接結合を防ぐためにアンテナとチャンバの間に導電性シールドを含むことを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項5】 アンテナへ高周波電力を供給する電源手段と、アンテナの周波数を共振に、またその入力インピーダンスを電源手段の入力インピーダンスに自動的に且つ対話的に合わせる手段とをさらに備えることを特徴とする請求項4記載の装置。

【請求項6】 アンテナの実際の長さは、 n が小さな奇数の整数であり且つ $\lambda/4$ が電磁励起周波の波長である場合に、 $n \cdot \lambda/4$ にほぼ等しいことを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項7】 アンテナの実際の長さは、 n が小さな偶数の整数であり且つ $\lambda/4$ が電磁励起周波の波長である場合に、 $n \cdot \lambda/4$ にほぼ等しいことを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項8】 アルキルの実際の長さは、 $\lambda/2$ が電磁励起周波の波長である場合に、 $\lambda/2$ にほぼ等しいことを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項9】 陰極シース電圧を制御するためにウェーハ支持手段に電圧を印加する手段とをさらに備えることを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項10】 一定の直流バイアスを維持するためにウェーハ支持電極への電圧を自動的に変化させる手段とをさらに備えることを特徴とする請求項9の装置。

【請求項11】 プラズマのウェーハに対する相対的な位置および移動を制御するために均一、発散および磁気ミラー磁界構成の中から選択されるアンテナの平面に直交する静止磁界を印加する手段とを更に備えることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項12】 ウェーハ支持電極は、その上にウェーハを支持するための表面を含み、且つ、チャンバ壁内側の周辺のあたりの比較的強い界域およびウェーハ支持表

面に沿った比較的弱い界域を設定するために、チャンバ下部域に多極カusp磁場を印加する手段とをさらに備えることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項13】 ウェーハ支持表面に沿って比較的低強度の界域を設定するために、ウェーハ支持電極から静止磁界をそらせるためのウェーハ支持電極に近接する磁気分路手段とをさらに備えることを特徴とする請求項11記載の装置。

【請求項14】 高周波エネルギーの自由空間への放射を防ぐために、チャンバの外側においてアンテナを囲む高周波反射器とをさらに備えることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項15】 チャンバはほぼ円筒形状の誘電体ドームを含み、結合手段は該ドームを囲むほぼ閉じたループアンテナであり、且つ電磁エネルギーの直接電界成分のチャンバ内への結合を防ぐために、アンテナとドームとの間に導電性シールドをさらに備えることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項16】 チャンバはほぼ円筒形状の誘電体ドームを含み、結合手段は該ドームを囲むほぼ閉じたループアンテナであり、ドーム内において該リングアンテナの平面に集中するプラズマを生成し且つ該プラズマをウェーハ支持電極まで下流に向けて拡散するために、電磁エネルギーの直接電界成分のチャンバ内への結合を防ぐようにアンテナとドームとの間に導電性シールドをさらに備えることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項17】 結合手段はドームを囲むほぼ閉じたループアンテナであり、ウェーハ支持電極はアンテナの平面の近傍に位置し、該リングアンテナの平面に集中するプラズマを生成し且つウェーハ支持電極の領域をプラズマにわたすために、電磁エネルギーの直接電界成分のチャンバ内への結合を防ぐようにアンテナとチャンバとの間に導電性シールドをさらに備えることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項18】 陰極シース電圧を制御するために、ウェーハ支持手段に電圧を印加する手段とをさらに備えることを特徴とする請求項17記載の装置。

【請求項19】 チャンバはその1側部において誘電体ウィンドーを含み、アンテナはチャンバの外側でウィンドーの近傍に設置されることを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項20】 アンテナは、チャンバ内に設置されることを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項21】 高周波エネルギーは、アンテナの入力インピーダンスを高周波源に整合するための誘導性、容量性または導電性インピーダンスの1つを介してアンテナに結合することを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項22】 高周波エネルギーは、アンテナの入力インピーダンスを高周波源のそれに整合するための可変コンデンサを介してアンテナに結合することを特徴とする請

求項2記載の装置。

【請求項23】 アンテナを共振に同調させるために、アンテナに接続する固定分布、誘導性または容量性インピーダンスから選択される手段を備えることを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項24】 アンテナを共振に同調させるために、アンテナに接続する可変コンデンサを備えることを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項25】 アンテナの長さは $\lambda/2$ にほぼ等しく、 λ はプラズマ励起周波数における高周波等しく、 λ は波長であり、且つ、アンテナを共振にRFエネルギーのためにアンテナ上の $\lambda/4$ 地点近くに同調させるためにアンテナ上に $\lambda/4$ 地点近くに接続する可変コンデンサをさらに備えることを特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項26】 プラズマから帯電イオンまたは電子のストリームを抽出するためのバイアスされたグリッドをさらに備えることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項27】 励起された中性物質および遊離基のストリームを抽出するために、抽出グリッドから離間して設けられる中和グリッドをさらに備えることを特徴とする請求項26記載の装置。

【請求項28】 プラズマチャンバを測定する誘電体ドームを含むハウジングと、半導体ウェーハを支持するためのプラズマチャンバ内の電極手段と、プラズマチャンバに反応性ガスを供給するためのハウジング内のガス吸気マニホールドと、プラズマチャンバと連通してその中に真空を維持するための真空ポンプ手段と、共同して高周波電磁エネルギーの直接電界成分をプラズマチャンバからそうらう且つ該高周波電磁エネルギーの磁気成分をプラズマチャンバ内に結合して閉ループ電界を誘導するための、ドームを囲むほぼ閉じたループアンテナおよびアンテナとドームの間にはさまれる導電性ガードを含む高周波エネルギー源とを備えてなることを特徴とするプラズマ処理反応装置。

【請求項29】 高周波エネルギー源は、50~800 MHzの範囲内の周波数を有することを特徴とする請求項28記載の装置。

【請求項30】 陰極シース電圧を制御するために、選択された周波数の交流エネルギーをウェーハ支持電極に印加する手段をさらに備えることを特徴とする請求項28記載の装置。

【請求項31】 外部源からの選択された周波数の交流エネルギーをプラズマチャンバに印加するようにされ且つ電極手段をなす一体的な送電路構造と、該電極手段を囲む外側導体と、送電路構造に印加された交流エネルギーが陰極シース電圧を増大するために電極手段に沿って結合するような、電極手段と外側導体の間の絶縁体とをさらに備えることを特徴とする請求項28記載の装置。

【請求項32】 選択された材料を製作するための気体からプラズマを生成するために、円偏波高周波電磁エ

ネルギーを真空チャンバに印加しながら該チャンバに誘電体を供給することを特徴とするプラズマを生成するプロセス。

【請求項33】 真空チャンバ内において電極上に物体を支持し、真空チャンバに気体を供給し、チャンバに隣接するほぼ閉じたループアンテナを用いて高周波電磁エネルギーを生成し、該電磁エネルギーをチャンバに結合することによって該物体上に1種類又はそれ以上の材料を制作するためのプラズマを生成することを特徴とするプラズマを生成するプロセス。

【請求項34】 電磁エネルギーの直接電界成分はチャンバから遮蔽され、該電磁エネルギーの磁気成分はプラズマを生成するためにチャンバに結合されることを特徴とする請求項33記載のプロセス。

【請求項35】 電磁エネルギーの磁気成分は、プラズマを生成するために円電界を誘導するようにチャンバに結合することを特徴とする請求項33記載のプロセス。

【請求項36】 結合した成分は、円形状電界を誘導することを特徴とする請求項35記載のプロセス。

【請求項37】 陰極シース電圧を制御するために、選択された周波数の交流エネルギーを電極に印加する段階をさらに含むことを特徴とする請求項33記載のプロセス。

【請求項38】 陰極シース電圧を制御するために、選択された周波数の交流エネルギーを電極に印加する段階をさらに含むことを特徴とする請求項34記載のプロセス。

【請求項39】 陰極シース電圧を制御するために、選択された周波数の交流エネルギーを電極に印加する段階をさらに含むことを特徴とする請求項35記載のプロセス。

【請求項40】 選択した陰極シース電圧を維持するために、前記電極に与えられる電力を変化させる段階をさらに含むことを特徴とする請求項37記載のプロセス。

【請求項41】 陰極シース電圧とは無関係に低イオンエネルギーにおいて高イオンフラックスが生成され、イオンフラックス密度とは無関係に1オンの方向を定めイオンエネルギーを制御するために、アンテナに与えられた出力がイオンフラックス密度を定め、電極に送られた出力が陰極シース電圧を定めることを特徴とする請求項37記載のプロセス。

【請求項42】 気体がエッチング気体をなし、プラズマがエッチング物体を生成することを特徴とする請求項33記載のプロセス。

【請求項43】 気体がエッチング気体をなし、プラズマがエッチング物体を生成することを特徴とする請求項34記載のプロセス。

【請求項44】 異方性、半異方性または等方性エッチングを選択的に実行するために、アンテナ出力および電

၁

ことを特徴とする請求項4記載のプロセス。

【請求項45】 異方性、半異方性または等方性付着を選択的に実行するために、アンテナ出力および電極へ送られるバイアス出力を制御する段階をさらに含むことを特徴とする請求項43記載のプロセス。

10

【請求項48】 製作が、1種類以上の材料の付着であ

【請求項49】 製作が、1種類以上の材料の別々また

3

【請求項 51】 製作が、1 種類以上の材料のエッチングを特徴とする請求項 50 記載のプロセス。

【請求項52】 製作が、1種以上の材料を用いて行われる請求項50記載のプロセス。

30

【請求項54】 材料は、酸化物であることを特徴とする請求項46記載のプロセス。

【請求項55】 アンテナに高周波出力を印加することによって酸化物の層をエッチングすることを特徴とする

【請求項56】 アンテナに高周波出力を印加することと、
アンテナの周りを等方性にエッチングすることを特

40

【請求項58】 アンテナに高周波出力を印加し且つワ
イヤを低周波出力の出力を印加すること

【請求項59】 エッチングされる材料はポリ上に形成

50

【請求項60】 エポキシ化される材料はが1上に形成された酸化物であり、50乃至100MHzで500乃至5000ワットのマイクロ波力、200乃至1000ワットの電力で加熱し、以てフッ素、炭素、水素含有の各

【請求項6】 エンジンとされる材料は球上に形成

7.0

ことを特徴とする請求項5記載のプロセス。

13

【請求項5】 エッチに与えられる材料はアルミニウム
上の誘電体であり、50乃至800MHzで300乃至500乃至1000ワット

50 ことを特徴とする請求項 1 の装置

電極に印加し、気体は30(100(0~4) sccmの $\text{Cl}_2/\text{He}/\text{O}_2$ であり、圧力は10~50 millitorrであり、これによって、該ポリシリコンを35(1のボロ、酸化物選択比によって約2,000~4,000 Å/min.の速度でエッチングすることを特徴とする請求項5記載のプロセス。

【請求項82】 エッチングされる材料はフォトレジストであり、50乃至80 MHzで3000乃至5000ワットのアンテナ電力、約1000ワット未満のバイアス電力、酸素、フッ素含有気体および窒素から選択される少なくとも1種類の気体を含む気体化学組成、および約100 millitorr乃至50 torrの圧力を適用することを特徴とする請求項4記載のプロセス。

【請求項83】 エッチングされる材料はフォトレジストであり、50乃至400 MHzで300乃至2500ワットのアンテナ電力、約1000ワット未満のバイアス電力、酸素および亜酸化窒素から選択される少なくとも1つの酸素源気体と窒素、 CF_4 、 C_2F_6 、 NF_3 および SF_6 から選択される少なくとも1つの気体とを含む気体化学組成、および500 millitorr乃至10 torrの圧力を適用することを特徴とする請求項4記載のプロセス。

【請求項84】 エッチングされる材料はフォトレジストであり、50乃至250 MHzで300乃至2500ワットのアンテナ電力、約1000ワット未満のバイアス電力、酸素および亜酸化窒素から選択される500乃至2000 sccmの酸素含有気体と約5000 sccm未満の窒素、 CF_4 および NF_3 から選択される少なくとも1つの気体とを含む気体化学組成、および500 millitorr乃至5 torrの圧力を適用することを特徴とする請求項4記載のプロセス。

【請求項85】 材料はフォトレジストであり、200 MHzで1~1.5キロワットの電力をアンテナに印加し、気体は8,00~1,000 sccmの O_2 、0~200 sccmの N_2 および0~200 sccmの CF_4 であり、チャンバ圧力は約1 torrであり、ウェーハ支持電極は約100~2,000℃に維持されそれによって該フォトレジストを約1~3 millitorr/min.の速度でエッチングすることを特徴とする請求項4記載のプロセス。

【請求項86】 フォトレジストをエッチングするプロセスであって、50乃至800 MHzで300乃至2,500ワットのアンテナ電力、約500ワット未満のバイアス電力、(1)酸素と(2)酸素およびフッ素含有気体とから選択される1つ以上の気体または気体の組合せを含む気体化学組成、および約1 millitorr乃至約500 millitorrの範囲内のチャンバ圧力を適用して、該フォトレジストを異方性にエッチングすることを特徴とする請求項5記載のプロセス。

【請求項87】 フォトレジストをエッチングするプロセスであって、50乃至250 MHzで300乃至1,500ワットのアンテナ電力、約300ワット未満のバイア

ス電力、(1)酸素および亜酸化窒素から選択される1以上の酸素含有気体と(2) CF_4 、 NF_3 、 C_2F_6 および SF_6 から選択される1つ以上のフッ素含有気体とを含む気体化学組成、約1 millitorr乃至約100 millitorrの範囲内のチャンバ圧力、および約125℃以下のウェーハ温度を適用して、該フォトレジストを異方性にエッチングすることを特徴とする請求項5記載のプロセス。

【請求項88】 フッ素含有気体の酸素含有気体に対する重量比は、(0~300) (10~300) であることを特徴とする請求項8記載のプロセス。

【請求項89】 材料はフォトレジストであり、200 MHzで1キロワットの電力をアンテナに印加し、0~2000ワットの比較的低い周波数の電力をウェーハ支持電極に印加し、気体30~1000 sccmの O_2 および0~500 sccmの CF_4 であり、チャンバ圧力は約10~30 millitorr であり、ウェーハ支持電極は約60℃に維持され、それによって、該フォトレジストを約0.8~2 microns/min.の速度で異方性にエッチングすることを特徴とする請求項4記載のプロセス。

【請求項90】 窒化ケイ素の低圧プラズマ付着のために、ケイ素含有気体および窒素含有気体を含む気体化学組成、および50 millitorr より低い圧力を利用する請求項4記載のプロセス。

【請求項91】 窒化物の低圧プラズマ付着のために、50乃至800 MHzで300乃至5,000ワットのアンテナ電力、約1,000ワット未満のバイアス電力、ケイ素含有気体および窒素含有気体を含む気体化学組成、および約500 millitorr 未満のチャンバ圧力を用いることを特徴とする請求項5記載のプロセス。

【請求項92】 窒化ケイ素の低圧プラズマ付着のプロセスであって、50乃至250 MHzで500乃至2,500ワットの上部アンテナ電力、0~600ワットの下部バイアス電力、30~300 sccmの SiH_4 、0~50 sccmの NH_3 および100~1,000 sccmの N_2 の気体化学組成、1~100 millitorrの圧力、および約100~500℃のウェーハ温度を特徴とする請求項5記載のプロセス。

【請求項93】 シリコンオキシ窒化物の低圧プラズマ付着のために、ケイ素含有気体、窒素含有気体および酸素含有気体を含む気体化学組成、および50 millitorr より低い圧力を利用することを特徴とする請求項4記載のプロセス。

【請求項94】 シリコンオキシ窒化物の低圧プラズマ付着のプロセスであって、50乃至250 MHzで500乃至2,500ワットのアンテナ電力、0~600ワットの下部バイアス電力、30~300 sccmの SiH_4 、0~50 sccmの NH_3 、100~1,000 sccmの N_2 および酸素および亜酸化窒素から選択される酸素含有気体となる気体化学組成10~50 millitorr の圧力、および約200~400℃のウェーハ温度を特徴とする請求項5記載

載のプロセス。

【請求項95】 シリコンオキシ窒化物の低圧プラズマ付着のプロセスであって、5.0乃至25.0MHzで5.0乃至2,500ワットのアンテナ電力、0～600ワットの下部バイアス電力、3.0～2.00sccmのSiH₄、0～5.0sccmのNH₃、1.00～1.000sccmのN₂、および1.00～1.000sccmのN₂OおよびO₂から選択される酸素を含有するものなる気体化学組成1～10.0millitorrの圧力および約100～500℃のウェーハ温度を特徴とする請求項52記載のプロセス。

【請求項96】 二酸化ケイ素の高圧等方性等角付着を実行することを特徴とする請求項48記載のプロセス。

【請求項97】 二酸化ケイ素の高圧等方性等角付着のプロセスであって、5.0乃至8.0MHzで300～5,000ワットのアンテナ電力、3.0～10.0sccmのシランおよびTEOSから選択されるケイ素含有気体および2.00～3.000sccmのN₂O、5.00millitorr乃至5.0torrのチャンバ圧力、および約100～500℃のウェーハ温度を特徴とする請求項48記載のプロセス。

【請求項98】 アンテナ電力は5.0～25.0MHzの300～2,500ワットであり、圧力は1～10torrであることを特徴とする請求項97記載のプロセス。

【請求項99】 シリコン窒化物またはシリコンオキシ窒化物の高圧等方性等角付着のプロセスであって、5.0～8.0MHzにおいて300～5,000ワットのアンテナ電力、シラン、アンモニア、窒化物および二酸化窒素から選択される気体および5.00millitorr乃至5.0torrのチャンバ圧力を特徴とする請求項48記載のプロセス。

【請求項100】 シリコン窒化物は、5.0～40.0MHzで300～2,500ワットのアンテナ電力、シラン、アンモニアおよび窒素でなる混合気体および5.00millitorr乃至10torrの圧力を利用して付着されることを特徴とする請求項99記載のプロセス。

【請求項101】 アンテナ電力は5.0～25.0MHzで500～1,500ワットであり、バイアス電力は0～300ワットであり、混合気体は3.0～10.0sccmのSiH₄、0～3.0sccmのNH₃、および1.00～5.000sccmのN₂でなり、ウェーハ温度は100～500℃であることを特徴とする請求項100記載のプロセス。

【請求項102】 チャンバ圧力は1～10torrであり、ウェーハ温度は200～400℃であることを特徴とする請求項101記載のプロセス。

【請求項103】 シリコンオキシ窒化物は5.0乃至40.0MHzで300～2,500ワットのアンテナ電力、シラン、アンモニア、窒素および二酸化窒素でなる混合気体、および5.00millitorr乃至10torrのチャンバ圧力を利用して付着されることを特徴とする請求項99記載のプロセス。

【請求項104】 アンテナ電力は5.0～25.0MHzの

0.5～1.5KWであり、バイアス電力は0～300ワットであり、混合気体は3.0～10.0sccmのアンモニア、0～3.0sccmのNH₃、1.00～2.500sccmの窒素および1.00～2.500sccmのN₂Oでなり、圧力は5.00millitorr乃至5.0torrであり、ウェーハ温度は約100～500℃であることを特徴とする請求項103記載のプロセス。

【請求項105】 圧力は1～10torrでありウェーハ温度は200～400℃であることを特徴とする請求項104記載のプロセス。

【請求項106】 材料アルミニウムをエッチングするプロセスであって、5.0乃至8.0MHzで300～2,500ワットのアンテナ電力、0乃至600ワットのバイアス電力、塩素含有気体および臭素含有気体から選択される1つ以上の気体を含む気体化学組成、および約1millitorr乃至約30.0millitorrの範囲内のチャンバ圧力を特徴とする請求項47記載のプロセス。

【請求項107】 材料アルミニウムをエッチングするプロセスであって、5.0乃至40.0MHzで500乃至1,500ワットのアンテナ電力、1.00乃至4.00ワットのバイアス電力、Cl₂、BCl₃およびBr₂から選択される1つ以上の気体を含む気体化学組成、および約1millitorr乃至約10.0millitorrの範囲内のチャンバ圧力を特徴とする請求項51記載のプロセス。

【請求項108】 アルミニウムをエッチングするプロセスであって、塩素含有気体および臭素含有気体の1つ以上から選択される気体化学組成を特徴とする請求項47記載のプロセス。

【請求項109】 混合気体が、添加物Br₂、三臭化ホウ素をさらに含むことを特徴とする請求項108記載のアルミニウムエッチングプロセス。

【請求項110】 5.0乃至25.0MHzで600乃至800ワットのアンテナ電力、100乃至200ワットのバイアス電力、(3.0～10.0)、(3.0～10.0)のBCl₃/Cl₂流量比、および約10millitorr乃至約50millitorrの範囲内のチャンバ圧力を特徴とする請求項109記載のプロセス。

【請求項111】 フッ素を含有する気体化学組成を用いてタンゲステンをエッチングすることを特徴とする請求項47記載のプロセス。

【請求項112】 20.0MHzで200～500ワットのアンテナ電力、0～200sccmのSF₆、0～200sccmのNH₃、および0～200sccmのアルゴンでなる気体化学組成および1.0～10.0millitorrのチャンバ圧力をさらに特徴とする請求項111記載のプロセス。

【請求項113】 5.0乃至8.0MHzで100乃至2,500ワットのアンテナ電力を特徴とする請求項111記載のプロセス。

【請求項114】 5.0乃至25.0MHzで200～500ワットのアンテナ電力、0乃至200ワットのバイア

ス電力、0~2000sccmのSF₆、0~2000sccmのNF₃および0~2000sccmのアルゴンでなる気体化学組成および約10millitorr乃至約100millitorrの範囲内のチャンバ圧力をさらに特徴とする請求項111記載のプロセス。

【請求項115】 HBr、Cl₂、HeおよびSiF₄の1つ以上から選択される気体化学組成を用いて単結晶シリコンを異方性にエッチングすることを特徴とする請求項17記載のプロセス。

【請求項116】 50乃至800MHzで100~2500ワットのアンテナ電力、0乃至500ワットのバイアス電力、約1millitorr乃至500millitorrの範囲内のチャンバ圧力をさらに特徴とする請求項115記載のプロセス。

【請求項117】 該シリコンを異方性にエッチングするための、50乃至250MHzで300乃至700ワットのアンテナ電力、50乃至200ワットのバイアス電力、HBr、NF₃、HeおよびO₂から選択される1つ以上の気体を含む気体化学組成、および約10millitorr乃至約50millitorrの範囲内のチャンバ圧力を特徴とする請求項115記載のプロセス。

【請求項118】 300~700ワットのアンテナ電力、約100ボルトの陰極シース電圧を設定するための50~150ワットのバイアス電力30~100sccmのHBr、0~200sccmのNF₃、0~100sccmの酸素、0~100sccmのヘリウムおよび0~200sccmのSiF₄でなる混合気体、および10~50millitorrの圧力を特徴とする請求項115記載のプロセス。

【請求項119】 エッチングされる材料はタンゲステンチタンおよび窒化チタン化合物から選択されることを特徴とする請求項47記載のプロセス。

【請求項120】 エッチングされる材料は酸化物とアルミニウム材料との間にはさまれるタンゲステンチタンおよび窒化チタン化合物から選択される障壁層であることを特徴とする請求項47記載のプロセス。

【請求項121】 アンテナ周波数は50乃至800MHzであることを特徴とする請求項120記載のプロセス。

【請求項122】 エッチングされる材料は酸化物とアルミニウム材料との間にはさまれるタンゲステンチタンおよび窒化チタン化合物から選択される障壁層であり、アンテナ電力は50乃至250MHzの300乃至600ワットであり、下部バイアス電力は100乃至200ワットであり、気体は10乃至100sccmのBCl₃、0乃至200sccmの塩素および0乃至200sccmのCF₄を含み、チャンバ圧力は5乃至50millitorrであることを特徴とする請求項47記載のプロセス。

【請求項123】 アルミニウム上に酸化ケイ素の層を付着する第1の段階と、酸化物付着を継続し且つ同時に付着する酸化物をその付着速度より低いエッチング速度

でスパッタエッチングすることによってスパッタファセット付着を行う第2の段階とを特徴とする請求項49記載のプロセス。

【請求項124】 50乃至250MHzで500乃至2500ワットのアンテナ電力を特徴とする請求項123記載のプロセス。

【請求項125】 第1の付着段階は、50乃至250MHzで300乃至2500ワットのアンテナ電力、低い陰極シース電圧を設定するためのほぼゼロに等しい下部バイアス電力、シリコン含有気体および酸素でなる気体、1乃至30millitorrのチャンバ圧力、および300乃至400℃のウェーハ温度を適用することを特徴とし、第2のファセット付着段階は、約200乃至600ボルトの陰極シース電圧を設定するために200乃至1000ワットの下部バイアス電力を印加し、かつ同時に行われるエッチングと合わせての正味の付着をもたらすために400乃至800sccmのアルゴンを添加することを特徴とする請求項124記載のプロセス。

【請求項126】 第1の付着段階は、1乃至2KWのアンテナ電力、および30乃至1000sccmのシランおよび30乃至2000sccmの酸素でなる混合気体を利用し、第2のファセット付着段階は、400乃至800sccmのアルゴンを添加することを特徴とする請求項125記載のプロセス。

【請求項127】 付着速度に対するスパッタエッチング速度の比は、ウェーハの形状を平坦化するように選択されることを特徴とする請求項125記載のプロセス。

【請求項128】 結合手段は、電偏導磁エネルギーをチャンバ内に結合することを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項129】 交流エネルギーの電力が陰極シース電圧を制御することを特徴とする請求項28記載の装置。

【請求項130】 交流エネルギー源の電力は、少なくとも1つの選択した陰極シース電圧および直流バイアスを維持するために自動的に変化させられることを特徴とする請求項28記載の装置。

【請求項131】 気体は酸化物をスパッタエッチングするための非反応性気体を含むことを特徴とする請求項57記載のプロセス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【関連出願へのクロアソフケレンス】本出願は、発明者Collins の名で1990年12月3日に提出された「UHF/VHF共振アンテナ供給線を用いたブラズマリアクタ及び方法」という題の共同譲渡された米国特許出願（AMAT出願番号252）の一部継続出願である発明者Collins の名で1990年7月31日に提出された「UHF/VHFリエタシステム」という題の共同譲渡された米国特許出願明細書第359,947号（AMAT出

願番号151-1)の一部継続出願である。

【0002】

【産業上の利用分野】本発明は、RFプラズマ処理リアクタ、特に、付随するHF(高周波)電磁波を結合させるためにはば閉ループの共振アンテナ及び高周波(HF)エネルギー源を用いるプラズマリアクタに関する。

【0003】

【従来の技術】増々密度の高くなる集積回路形状へと向かう傾向のために、エネルギーの粒子衝撃(ボーンバード)すなわち放射による約200-300ボルトといった小さいウェーハシース電圧を受けたとき損傷を受けやすい電気的に感応性の高いきわめて小さな幾何形状のコンポーネント及びデバイスが生み出される結果となっている。残念なことに、このような電圧は、回路のコンポーネントが標準的な集積回路製造プロセス中に受ける電圧に比べ規模の小さいものである。

【0004】高度なデバイスのために製造されたMOSコンデンサ及びトランジスタといった構造は、非常に薄い(厚み200オングストローム未満)ゲート酸化物を有する。これらのデバイスはチャージアップによって損傷を受ける可能性があり、その結果ゲートは損傷する。これは、表面電荷の中和が、プラズマ電位又は密度の不均一性又は大きいRF変位(電束)電流のために起らなかった場合に、プラズマプロセスにおいて発生する可能性がある。相互接続ラインといった導線も又、同様な理由で損傷を受ける可能性がある。

【0005】RFシステム

CVD(化学蒸着)及びRIE(反応性イオンエッチング)リアクタシステムといった第1の先行技術に基づく半導体処理システムを考えてみよう。これらのシステムは約10-5000KHzといった低い周波数から約13.46-40.68MHzといったさらに高い周波数に至るまでの高周波エネルギーを使用することができる。約1MHz以下では、イオン及び電子は振動する電界及びプラズマ内に発達した何らかの定常状態電界によって加速化される可能性がある。このような比較的低い周波数では、ウェーハにおいて生成される電極シース電圧は標準的に最高1キロボルト以上のピークであり、これは200-300ボルトの損傷閾値に比べはるかに高い。数MHz以上では、電子はなお変化する電界に追従することができる。さらに質量の大きなイオンは変化する電界についていけず、定常状態電界により加速化される。この周波数範囲内(そして実際的气体圧及び電力レベル)では、定常状態シース電圧は数百ボルトから1000ボルト以上の範囲内にある。

【0006】磁場-エンハンスメント(強化)

RFシステムにおいてバイアス電圧を減少させるための好ましい方法には、プラズマに磁場を適用することが関与している。このBの磁場は電子をウェーハの表面近くの領域に封じ込め、イオン磁束密度及びイオン電流を増

大させ、かくして電圧及びイオンエネルギーを必要条件を低減させる。比較をすると、二酸化ケイ素をエッチングするための非磁氣的RIEプロセスの例では、13.56MHzで適用されるRFエネルギー、10-15リットル体積の非対称システム、50ミリのウェーハの圧力及び約(8-10)対1の陽極面積対ウェーハ支持陰極面積比が用いられ、約800ボルトのウェーハ(陰極)シース電圧が発達せられる。6リガウスの磁場の適用はバイアス電圧を約25-30パーセント、すなわち800ボルトから約500-600ボルトまで減少させる可能性があるが、一方エッチ速度は約50パーセントほど増大する。

【0007】しかしながら、ウェーハに平行にBの定常場を適用すると、E×Bのイオンレチドラフト及び、ウェーハを直径方向に横断するように向けられた付随するプラズマ密度勾配が生ずる。このプラズマ勾配は、ウェーハを横切ったエッチング、着着その他のフールム特性を不均一なものにする。この不均一性は、標準的には永久磁石の機械的動作によって又は90度位相ずれして直角位相に駆動されている電磁コイル対を用いることによってウェーハのまわりで磁場を回転させることによって、或いは制御された速度で磁場をステップング又はその他の形で移動させるべくコイル対内の電流を周期的に制御することによって、減少させることができる。しかし、磁場の回転は不均一性勾配を低減するものの、標準的には、ある程度の不均一性が残る。

【0008】さらに、コイル時に2つ以上のコイル対をチャンバのまわりにパッケージし、コンパクトなシステムを達成することは、特に共通のロードロックをとり囲む個々の磁気強化リアクタチャンバから成る多重チャンバシステム及び、又はヘリウムホルツコイル構成を用いる場合に、困難なことである。磁界強度及び方向を瞬間的及び選択的に変える能力をもち、しかもコンパクト多重チャンバリアクタシステム内で用いるように設計されている唯一のリアクタシステムは、発明者Cheng 他の名で1989年6月27日に発行された共同譲渡の米国特許中に開示されている。

【0009】マイクロ波-ECRシステム

マイクロ波及びECR(電子ダイクロトコリ共鳴)システムは、プラズマを励起するため、300MHz以上、標準的には2.45GHzの周波数のマイクロ波エネルギーを用いる。この技術は高密度プラズマを生成するが、粒子エネルギーは低く、二酸化ケイ素の反応性イオンエッチングといった数多くのプロセスのための最小反応閾値のエネルギーよりも下でありうる。これを補償するため、エネルギー強化用の低周波電力がウェーハ支持電極に又ひいてはウェーハを通してプラズマに結合される。従って、ウェーハ損傷の確率は、以前のシステムに比べ減少する。

【0010】エッチング又はCVDといった半導体ウエ

一ハ処理のための実際の電力レベルで動作させられたマイクロ波及びEORマイクロ波システムは、送電のために大きな導波管を、又高価なチューナ（同調器）、方向性結合器、サーキュレータ及び擬似負荷を動作のために必要とする。さらに、市販の2.45GHzで動作するEORマイクロ波システムのためのEOR条件を満たすためには、875ガウスの磁場が必要とされ、大きな電磁石、大きな電力及び冷却必要件が必要になる。

【0011】マイクロ波及びEORマイクロ波システムは、容易にスケールアップできない。2.45ガウスに対するハードウェアが利用可能である。これはこの周波数が電子レンジに用いられているものだからである。915MHzのシステムも同様に利用可能であるが、コストはさらに高くなる。その他の周波数については、ハードウェアは容易に又は経済的に入手できない。従って、より大きな半導体ウェーハに対応するためマイクロ波システムを5〜6インチスケールアップするためには、さらに高いオペレーションモードを使用することが必要である。より高いモードで動作させることによる固定周波数でのこのスケールアップには、より高価又はより低位の負荷へのいわゆるモードフリップを避けるために非常に密なプロセス制御が必要である。代替的には、スケールアップは、例えば5〜6インチのマイクロ波キャビティについて、プラズマ密度をより広い面積に広げるよう発散する磁場を用いることによって達成することができる。この方法は、有効電力密度についてはプラズマ密度を減少する。

【0012】HF送電線システム

発明人 Collins他の名で1990年7月31日に提出された「VHF/UHFリアクタシステム」という題の前述の共同譲渡された米国特許出願明細書第558,947号（AMAT出願番号151-1）はここに参考として内含される。内含されたこの出願明細書は、リアクタチャンバ自体が一部分、マッティングネットワークからチャンバへ高周波プラズマが生成するエネルギーを適用するための送電線構造として構成されているような、高周波VHF/UHFリアクタシステムを開示している。この独特の一体型送電線構造により、マッティングネットワークと負荷の間の非常に短い送電線の必要条件を満たすことができ、さらに50〜800MHzの比較的高い周波数を使用することができる。こうして、比較的低いイオンエネルギー及び低いシールド電圧で商業的に受諾できるエッチング及び析出速度を生成するためプラズマ腔体に対しRFプラズマ生成エネルギーを効率的かつ制御可能な形で適用することが可能となる。比較的低い電圧は、電氣的に感応性の高い小さな幾何形状の半導体デバイスに対する損傷の確率を低減する。VHF/UHFシステムは、上述のスケールアップ可能性及び出力の制限といったような先行技術のその他のさまざまな欠点を防止する。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】上述の論述を考慮して、本発明の1つの目的は、プラズマを生成するために高周波AC（交流）電力を使用するプラズマリアクタ及びその方法を提供することにある。本発明のもう1つの目的は、プラズマを生成するためにVHF/UHFエネルギーを用いるようなプラズマリアクタ及び方法を提供することにある。

【0014】横円偏波（円偏波を含む）されたVHF/UHFエネルギーを真空チャンバ内に結合しプラズマを生成するようなプラズマリアクタシステム及び方法を提供すること、もう1つの関連する目的である。さらに本発明のもう1つの関連する目的は、円偏波されたVHF/UHFエネルギーを真空チャンバ内に結合してプラズマを生成するようなプラズマリアクタシステム及び方法を提供することにある。

【0015】本発明のさらにもう1つの目的は、円偏波VHF/UHFエネルギーを結合してプラズマを生成しそのプラズマ密度及びイオン電流密度を規定するようなプラズマリアクタシステム及び、除極（ウェーハ電極）に適用される送電線構造のシールド電圧についてはイオンエネルギーを規定する補助バイアスを提供することにある。

【0016】本発明のさらにもう1つの目的は、上述の目的を満たし先行技術の欠点を補正するようリアクタ及び付随する数多くの方法の実施態様を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】一態様において、上述の及びその他の目的を満たす本発明は、プラズマ処理チャンバ及び、例えば結合手段に又はこの結合手段との関係において下流に位置づけられた半導体ウェーハといった品物を製造するためチャンバ内にプラズマを生成するため処理用チャンバ内へ高周波の横円偏波された電磁エネルギーを結合させるための手段を含むRFプラズマ処理システムの構成及び動作という形で実施される。

【0018】好ましくは、50〜800MHzの範囲内にある高周波電力が用いられる。好ましくは、結合手段は、単巻きのほぼ閉ループの共振アンテナである。もう1つの態様においては、システムは、中のチャンバを構成する誘電ドーム及び、高周波の電磁エネルギーをチャンバ内に結合するためのほぼ閉ループのアンテナを含んでいる。製造される品物は、ドーム内アンテナの平面に密に隣接して又はその平面内、又は好ましくはアンテナの下流に位置づけることができる。

【0019】その他の好ましい態様には、高周波電磁エネルギーの電界成分をチャンバ内に結合させないよう単巻きアンテナ又はその他の結合手段とチャンバの間に介在させられた導磁性シールドが含まれていてもよい。同様に、単巻きアンテナ又はその他の結合手段をとり囲むように位置づけられた高周波反射体がチャンバ内への高

周波エネルギーの放射を集束させている。交流電源及び制御システムが、標準的にはアンテナの電力よりも低い周波数の交流電力をウェーハ支持電極に結合し、かくして、高周波電力により行なわれるプラズマ密度制御とは独立して、陰極シーク電圧及びイオンエネルギーの制御を行なう。

【0020】磁気強化は、ウェーハとの関係において下流でのプラズマの位置づけ及び輸送を制御するため、均一な磁気凹面鏡構成の中から選択された、アンテナの平面に對し直交して制御された静的磁場を透射するような周近常設又は電磁装置によって供給されてもよい。同様に、ウェーハを徹底的に磁場をほぼ除去しながらウェーハ領域にプラズマを封じ込めるため、ウェーハの近くでチャンバに對して多極カスプ磁場を適用するため、チャンバのまわりに磁石をとりつけてもよい。さらに、ウェーハ支持電極からあらゆる磁場を消散させるため、ウェーハ及びウェーハ支持電極をとり囲んで磁気回路を位置づけしてもよい。

【0021】もう一つの態様においては、好ましくは n を小さな奇数又は偶数の整数としラムダを電磁励起周波数の波長として、アンテナの物理的長さは、ほぼ n ラムダ/4である。好ましくは、長さは、低モードオペレーション用、例えば $n=2$ 用を選択され、モードはラムダ/2である。このシステム構成によると、低モードオペレーションを保持しながら作動周波数を選択することにより、そのサイズのスケールアップが可能になる。

【0022】網羅的ではないもののその他の装置態様には、誘導性、容量性及び導電性のインピーダンスから選ばれた結合手段を介して高周波電源にアンテナのインピーダンスを整合させることが含まれる。同様に、固定、分配、誘導性及び容量性のインピーダンスの中から選択された、アンテナを共振に同調させるための手段も具備されていてよい。現在好まれる実施態様においては、アンテナのインピーダンスを高周波電源のインピーダンスに整合するため及びアンテナを共振に同調させるため、可変コンデンサがアンテナ内に内蔵されているか又はアンテナに接続されている。

【0023】もう一つの態様においては、本発明は、中でプラズマチャンバを構成する誘電ドームを含むハウジング、半導体ウェーハを支持するためのプラズマチャンバ内の電極手段；プラズマチャンバに反応体ガスを供給するためのハウジング内の吸気マニホールド、中で真空を維持するためプラズマチャンバと連絡している真空ポンプ送り手段；及びドームをとり囲むほぼ閉ループのアンテナ、及びプラズマチャンバからの高周波電磁エネルギーの直接電界成分を運動的に分離させ、中に閉ループ電界を誘導するプラズマチャンバ内に高周波電磁エネルギーの磁気成分を結合するためアンテナとドームの間に置かれた導電性のシールドを含む高周波エネルギー源を含む、プラズマ処理リアクタの構造及び作動の形で実施さ

れる。

【0024】もう一つの方法態様においては、本発明は、材料のエッチング、材料の蒸着、材料の同時エッチング・蒸着及び、又は材料の連続エッチング・蒸着の中から選ばれた材料の製造を行なうため、チャンバ内にプラズマを生成するべく、処理用チャンバ内に高周波の楕円偏波された電磁エネルギーを結合する方法という形で実施される。

【0025】もう一つの方法態様においては、本発明に従った方法には、真空チャンバ内で電磁的に物体を支持する段階；ガスを真空チャンバ内に供給する段階、チャンバに隣接してほぼ閉ループのアンテナを用い、高周波電磁エネルギーを生成する段階；及びチャンバ内に電磁エネルギーを結合しかくして物体上に単数又は複数の材料を製造するためプラズマを生成する段階が含まれている。

【0026】本発明に従った方法は同様に、真空チャンバ内に物体を支持する段階；真空チャンバに気体を供給する段階；チャンバに隣接するほぼ閉ループのアンテナを用い、高周波電磁エネルギーを生成する段階；及び中で閉ループ電界を誘導するためチャンバ内に電磁エネルギーの磁気成分を結合し、かくして物体上に単数又は複数の材料を製造するべくガスからプラズマを生成する段階をも含んでいる。さらにもう一つの態様においては、物体は電極上に支持され、プラズマ密度及びイオン束密度との関係において陰極シーク電圧とイオンエネルギーを独立して制御するため交流電力が電極に加えられる。

【0027】特定の方法態様としては、ポリシリコン（多結晶シリコン）上に形成された酸化物内のコンタクトホールのエッチング及びアルミニウム上に形成された酸化物内のパイアホールのエッチングを含む酸化物のエッチング；酸化シリコン及びポリシリコンのいわゆる「光」エッチング；高速等方性及び異方性酸化物エッチング；ゲートなどのポリシリコン基体のエッチング；フォトリソグラフィエッチング；単結晶シリコンの異方性エッチング；異方性フォトリソグラフィエッチング；窒化物及びオキシ窒化物の低圧プラズマ析出；酸化物、オキシ窒化物及び窒化物の高圧等方性共析（コンフォーマル）析出；アルミニウム及びチタンといった金属及びその化合物及び合金のエッチング；及び局所的及び全体的な、又は平坦化を伴うパッタ・マスケット析出、が含まれるが、これらに限られるわけではない。

【0028】

【実施例】1. 概論

図1は、本発明の両偏波プラズマ供給源配置、磁気強化されたプラズマ供給源配置及びその他の態様を使用するプラズマリアクタチャンバシステム10の概略的断面図である。チャンバ例は、一体式送電線構造を含む私の同時係属のここに内含されている一部継続特許出願の中に記述したものの変形態様である。本発明の傑出した特徴はプラズマリアクタチャンバ全般に適用可能である。さ

らに、当業者は以下の記述に基づき、リマクシシステムの性能を連動式に高める本発明のさまざまな特長を別々に用いることも可能であるしシステムから選択的に削除することもできる、ということが理解できるであろう。例えば、円偏波プラズマ供給源により提供されるプロセス条件は、磁気強化の必要性を往々にして排除する。

【0029】システム例10には、側壁12及び上部壁13及び14をもつ陽極酸化アルミニウム又はその他の適当な材料で形成された真空チャンバハウジングが含まれている。陽極酸化アルミニウムは、アーク発生及びバックリングを抑制することから好まれる。しかし、硬アルミ及びプロセス相溶性ある重合体又は石英又はセラミックスのライナといったその他の材料を用いることも可能である。このチャンバは、プロセス性能を高めるため加熱したり又は冷却したりすることができる。上部壁13は、壁12-12の間に構成された下部チャンバセクション16Aと、誘導ドーム17により構成された上部チャンバセクション16Bとの間に中央開口15を有している。ドームは好ましくは石英でできているがアルミナ及びアルファアルミナ（サファイア）を含む複数の誘電材料でできていてもよい。ドームはプロセス性能を高める必要に応じて加熱又は冷却することができる。流体又は気体の伝熱媒体を用いることもできるし、或いはスドームを直接加熱するための加熱要素を用いることもできる。真空気密なエンクローシャを維持するためさまざまなかみ合い面の間にOリングといったさまざまなシールが置かれている。チャンバハウジング11（チャンバ16）の内部は、真空ポンプ送りシステム（図示せず）に連結された真空ライン21内のプロットバルブ（これは流量と無関係に圧力を調節する）を介して排気される。

【0030】22に概略的に示されているように、標準的には単数又は複数の加圧ガス供給線からコンピュータ制御された流量制御装置（図示せず）を介してチャンバ11に対し反応体ガスが供給され、このガスは、上部壁13の内側にとりつけられているか又は上部壁13と一体化されたリングガスマニホールド23を通して内部真空処理チャンバ16内に入る。このマニホールド23は好ましくは、高周波RFエネルギーを適用した時点でエッチング及び／又は析出プラズマを発生させるためチャンバ／チャンバセクション16B及び16Aに対しやや上向きの角度を成してエッチングガス及び／又は析出ガスを供給する。ガスは、マニホールドを通しての代りに又はマニホールドを通してに加えて、プロセスチャンバ内にもたらされてよい。例えば、不活性ガス又はその他のガスをマニホールド23内にもたらし、その他の反応体ガスを下のプロセスチャンバ内のガス取込み口（図示せず）又は下部マニホールドを介してもち込むことが望ましい場合もある。好ましくは、周波数50乃至800 MHzのVHF

RFエネルギーといった高周波（HIF）エネルギーが、高周波（HIF）電源26による電力供給を受けるほぼ閉ループのアンテナ25によって加えられ、誘導結合のファラデー法則によりチャンバ16内でプラズマ処理を発生させる。これは、ウェーハ5を上面に支持している標準的にはウェーハ支持電極12及びアークチャンバの側壁12、上部壁13及びマニホールド23である第2の電極という2つの電極の間にRF電力が加えられるような従来のRFシステム配置とは対照的である。

【0031】好ましくは、上部チャンバセクション16Bからのガス流は、ウェーハ5の下方向きであり、次にウェーハから放射方向外方にポンプ送りされる。この目的で、片側のチャンバ壁12ともう一方の側の外部送電線導線320の間、及び底面のチャンバ底壁14と上面の導電性ポンプ送りのスクリー29の間には、陰極送電線構造32を中心にして、環状真空マニホールド33が構成されている。マニホールドスクリー29は真空マニホールド33とプラズマチャンバ16Aの間に置かれ、チャンバ壁12と送電線構造320の外側導線320の間に導電性の電気通路を提供している。マニホールド33は、ウェーハ5の周囲から排気ガスの均等な半径方向ポンプ送りを実現するため1つの環状ポンプ送り用流路を構成している。排気マニホールド33は、底面壁14内の単数又は複数のアパーチャ31を介して排気ガスシステムライン21と連絡している。全体的なガスの流れは、通路19に沿って吸気マニホールド23へ、次に上部チャンバセクション16Bから通路34に沿って、ウェーハの周辺縁部から半径方向外方に通路36に沿って及びアクリン29を通してガス吐出してマニホールド33内へ、そして通路37に沿って排気マニホールド33から排気システム21へ、である。

【0032】リングアンテナ25は、比較的高周波数（HIF）の電極（em）エネルギーをチャンバ内に結合するためプラズマチャンバ16B及びドーム17に導接して位置づけされている。誘導結合のファラデーの法則により、emエネルギーの変化するB（磁気）成分は、閉ループAC（交流）電界及びその結果生じる電流39-39を誘発し、これらはプロセスガスを活性化し、かくして比較的高い密度及び低いエネルギーのイオンを特徴とするプラズマをチャンバ16内に形成する（16という番号は集合的にチャンバ16A及び16Bならびにプラズマを表わす）。プラズマは、アンテナの平面内に集中してドーム内に生成され、1つの電子、遊離基及び励起されたニュートラルを含む活性種は、ここで記述されている支配的ガタ流によるバルクフロー及び拡散によって、ウェーハの下方と下流に移動する。同様に、以下に記すように、イオン及び電子をウェーハの下方へ吐出するため、適当な磁場を使用することができる。オブションとして、好ましくは、ウェーハにおけるプラズマソース電

圧を選択的に増大しかくしてウェーハにおけるイオンエネルギーを選択的に増大させるため、供給源42及びバイアスマッチングネットワーク43を含むバイアスエネルギー入力配置41が比較的的低周波数(LF)のエネルギーをウェーハ支持電極32Cに結合する。

【0033】基本的には底面開放ボックスである反射体44がアンテナを上面及び側面ととり囲んでいるが、底面はとり囲んでいない。反射体は、HFエネルギーが自由空間内に放射するのを防ぎ、かくして効率を高めるべくプラズマ内の出力の放射及び散逸を集中させる。好ましくは、以下に詳述するオープンエンドのフェラデー・ールド46は、プラズマに対する磁場結合を可能にするもののプラズマ内の勾配又は不均一性を引き起こすか又は荷電粒子を高いエネルギーへと加速化させる可能性のある直接的な電界結合を排除するために、リングアンテナ25のすぐ内側、上及び下に位置づけられる。

【0034】以下にさらに詳述するように、オプションとして、ウェーハ5におけるプラズマの密度を高めるため、静的成形磁場を提供するベキチャンバエンクロージャ11に隣接して、単数又は複数の電磁石47、47又は永久磁石がとりつけられる。要するに、本発明は、不均一性を誘発するHF直接電界成分をチャンバ内に結合させることなく又損傷を引き起こす可能性のあるHFエネルギーをウェーハ5を通して結合させることなく、高密度及び比較的低いエネルギーを特徴とするプラズマを生成するため真空チャンバ内部に円形電界を誘導するベキ標準的に50 MHz乃至800 MHz(オプションのバイアスエネルギーに比べると高い周波数であるが標準的にマイクロ波又はマイクロ波ECR周波数に比べるとはるかに低い)といった、楕円(楕円は円も含む)偏波された比較的高い周波数の電磁エネルギーを使用している。好ましい図示された下流プラズマ供給源配置においては、eノ波はウェーハから遠くで高いプラズマ密度で完全に吸収され、波がウェーハまで伝播しないようになっておりかくして損傷の確率を最小限におさえている。選択的に又オプションとして、ウェーハシース電圧を増大させる必要に応じてイオンエネルギーを増大させるため、ウェーハ支持電極32Cに対しては比較的的低周波数(LF)の補助交流バイアスエネルギーが加えられる。

2. アンテナ

リングアンテナ25は、好ましくは円形であるが、円形及び多角形構成を含むあらゆる共振、好ましくは単巻きの構成が可能である。単巻き構成が好ましいのは、それが小さいサイズのものであり(少量のプラズマが励起される)又それがウェーハの平面に対しほぼ平行な一平面内で円形電界を誘導し、誘導されたE(電)界の軸方向成分を損傷する可能性を防ぐからであるが、サイズ(励起される量)を最小限におさえるため好ましくは数巻きのみの多重巻きらせん構造も用いることができる。同様に、プラズマ体積を拡張するのに、多数の単巻きアンテナ

ナの山を用いることもできる。おおよそ励起又は共振周波数ラムダの4分の1波長の偶数倍(n=ラムダ/4、なおここでn=2, 4, 6等々)であるか又はラムダの4分の1波長の奇数倍(n=1, 3, 5等々)のいずれかである共振長(共振長)が選ばれる。好ましくは、より低い又はより高いサブレーションモードのモードフリッピングによるプロセスの変化を防ぐため、低モードサブレーションが選択される(n=好ましくは1、最も好ましくは2の小さい整数)。

【0035】アンテナの端部は、開回路、短絡接続又は誘導又は容量性接地のいずれかにより、アースを基準にしている。例えば、両方の端部を直接接地してもよいし、一方を接地しもう一方の開放していてもよい。現在好ましい構成には、電圧ピークが端部におけるゼロから中央における最大値まで変動するように、両端を接地した状態で半波長の周期性(nラムダ/4、n=2)が含まれる。この最低位置の半波長のサブレーションモードは、モード変化やフリッピングの無い信頼性の高いオペレーションを提供し、ピーク電圧値がアンテナの周囲に沿って連続した形で変化することからアンテナにおけるアーカ発生の確率を低減させる。

【0036】同様に、システムの周波数は、好ましい長さラムダ/2についてサブレーションモードを増大させることなく、3/2インチ乃至2インチの範囲にわたるチャンバ11Bの径のスケールリングを可能にするべく、50 MHzから800 MHzまで変化させることができる。特に、システムは、上述の範囲内で周波数を減少させ低モードサブレーションを保持しかくしてサブレーションモードの増大に付随するモードフリッピング及びプロセス変化の可能性を無くするという単純な手段により、電磁モードを変えることなく、半導体産業が好む増大さくなる直径のウェーハを収納すべく、向上きにスケールリングすることが可能である。

【0037】アンテナは、温度と共に増大する固有抵抗をもつ導線に付随する損失を低減するよう冷却された流体(液体又は気体)であってよい。例えば、管タイプのアンテナの片端内へ及びもう一方の端部から、冷却材を流すことができる。アンテナを駆動する電源24の高周波数はそれでもマイクロ波又はマイクロ波ECR応用分野で用いられる周波数よりかはるかに低いことから、より低い直流電流でより安価な給電により作動させられるオプションのより小さい磁石を、付随するより小さい熱負荷で使用することができる。さらに上述の説明により明らかであるように、26Cといった同軸ケーブルを導波管の代りに用いることもできる。さらに、その他の磁気強化又は磁気援助されたシステムにおいてE×Bの電子ドリフトにより引き起こされるプラズマ不均等性はこのでは存在しない。これは、適用される磁場(アンテナ25を介して適用されたHF電界の磁気成分及び磁石47により適用されたあらゆる静的磁場の両方)が隆極での

電界にはほぼ平行であるからである。従ってシステム内には $E \times B$ のドリフトは全く無い。

【0038】高い透過性をもつ材料で形成された磁気分岐路を、ウェーハにおいてではなく供給源（上端チャンバ16A）内でB界を許容するために用いることができる。オプションとしては、多重カスプ磁気路をチャンバの壁において生成するため、永久磁石又は電磁石を下部チャンバ16Aのまわりに多極配置で、標準的にはN-S-N-S・・・N-Sの互極配置で置くことができる。磁石は、例えば垂直極磁石であってもよいし、或いは又好ましくは水平リング磁石であってもよい。このような磁石は、ウェーハに磁場を受けさせることなく、壁に対する電子損失を減少させながらプラズマ密度を増加するのに用いることができる。

3. 同調アンテナ

標準的には、アンテナ25は、(1)固有共振により、すなわち問題の共振波長で共振するアンテナを作ることによって；(2)アンテナを共振するように発振器の周波数を変動させることによって；又は(3)共振を同調するためアンテナに接続された図2の同調手段49のような別々の共振要素によって、共振に対し同調される。例えば、要素49は、可変的対アース・インダクタンス又は対アース・コンデンサであってもよい。図2を参照すると、現在好まれているケースにおいて、要素49は、アンテナが固定プレートであり、プレート間の間隔及びキャパシタンスを変化させアンテナを共振に同調させるためモータ付きリニアアクチュエータ上に可動プレート49Mがとりつけられているような可変プレートのテフロンの誘電コンデンサである。

【0039】代替的には、介在キャパシタンスを変化させるためアンテナ25との関係において垂直にシールド44を動かすことができる。ここで、誘導型及び容量型同調が共振周波数を減少させることに留意されたい。従って、キャパシタンス又はインダクタンス同調変数を用いた場合の共振周波数の減少に対応するため、望まれる最高の共振周波数に合わせてシステムを構築することが望ましい。

【0040】自動同調が好ましく、同調/負荷変数を駆動するためインピーダンス位相/絶対値検出器を用いてこれを実施することができる。代替的には、同調及び負荷変数の両方を駆動するために、反射パワーブリッジ又はVSWRブリッジを用いることができる。

4. 装荷

図1及び図2を参照すると、アンテナをRF発振器26及び接続用同軸ケーブル26Cのインピーダンスに一致させるために、導電性の容量型又は誘導型装荷手段が用いられている。例えば、アンテナに沿って50オーム又は300オーム又はその他の発振器出力インピーダンスの場所であつたその近くでアンテナに対してタップ又はワイバをオーム接触させることができる。代替的には、ア

ンテナ上の発振器出力インピーダンス点50（図2）に、可変的インダクタンス又は可変的コンデンサを接続することができる。図2を参照すると、現在好まれている配置において、可変プレート49Mは誘電コンデンサが用いられている。固定プレート49Fは、発振器出力インピーダンス点に接続され、同軸ケーブル接続された可動プレート49Mは、プレートの間隔及びキャパシタンスを調整するため、モータ付きリニアアクチュエータ（図示せず）上に設置されている。インピーダンスマッチング（整合）は供給源内に組み込まれているため、マッチングネットワークは必要でない。

5. チャンバ構成

以上で概説されたように、さまざまなチャンバ構成及びチャンバ・アンテナ配置を使用することが可能である。例えば、チャンバは上にプレート又はウインドウの備わった円筒形のものであってもよい。ウインドウはアンテナの下及びアンテナに隣接して位置づけることができる。現在好まれている構成及び配置には、側面又は上面のすぐ上でアンテナ25がチャンバを制限している状態で、短かいベル型ジャーチャンバ17が含まれている。

6. 接地シールド

開示されているように、アンテナ25は、付随する接地面上に載っている。接地シールド又は反射ケージ44は、上面及び側面（その断面のまわり360度）でアンテナをほぼ完全に閉じ込め、アンテナのすぐ下でのみ開放している。この閉じ込めにより、自由空間内への出力の放射が防がれ、その結果、出力の放射及び散逸は、全体にアンテナの下半球方向にはその周囲内にあるチャンバプラズマ16及び16A内に集中されることになる。図3に示されているように、接地シールド44の上面、側面及び底面とアンテナ25の間の距離 d_1 、 d_2 及び d_3 は好ましくは、無視された反射が無い場合と同一構造又は部材が空洞共振体として作用するような望ましくない共振条件を防ぐため、4分の1波長よりも小さい d_1 、 d_2 、 $d_3 < \lambda/4$ 。

7. ファラデーシールド

ファラデーシールドのさまざまな構成が可能であるものの、現在好まれている最も単純な構成は、図1に描かれている外向きにフランジのついた導電性のオープンエンド型シリンドラ構成46である。好ましくは、シリンドラ17は、上から下へ1本のスリット又はその他の不連続性を有しているか、又は分画されているか又は多数のスリットを含む。この単数又は複数の不連続性は、わずかな電流損失を減らせる。

【0041】オープンエンド型構成により、アンテナ25からの電波の軸方向指向の磁気成分は、プラズマ39を生成するアンテナの平面内でこの平面に平行な閉ループ電界39を誘導することが可能となる。しかしながら、シールド26は、直接電界成分をアースに容積的に分路し、高周波数の電磁エネルギーの直接電界成分がア

ラズマに結合するのを防ぐ。シールド46が無ければ、アンテナに沿った変化する電圧は、容量的変位結合についてのマクスウェルの方程式に従ってプラズマに結合し、プロセスの不均一性や高エネルギー荷電粒子といった結果をもたらすウェーハを横切つてのエネルギー及びプラズマ密度の勾配及び不均一性を誘発する。積分の形で表わされたファラデーの法則は、表面を通しての変化する磁場がその表面内の閉鎖された電界という結果をもたらすことを必要とする。異なる形で現象を描いているマクスウェルの方程式は、誘導された電界のうすが磁場の変化の負の時間速度に正比例するということを規定している。

【0042】正弦励起については、誘導されたEのうすは、変化するB界のラジアン周波数ならびにそのピーク振幅に対し正比例する。要するに、分割された又は分画されたファラデーシールドはうす電流損を低減し、プラズマを生成する閉ループ電界を誘導するためプラズマに対し高周波数の軸方向指向の線より磁場を結合することを可能にするが、プラズマに対する電界（これはアンテナに沿って変化する）の直接結合を排除し、従って、そこからの高エネルギー荷電粒子のためのプロセス均等性及びプラズマ均等性の付随する損失をことごとく排除する。

8. 磁気強化

上述のように、単数又は複数の（好ましくは少なくとも2つの）永久磁石又は電磁石47-47'が、アンテナ25の平面及び比較的高周波数のRF放射アンテナにより誘導された電界39の両方に直交した及びこれらの両方を通る静的な一般に軸方向の磁界を構成している。好ましくは、均質、発散又は磁気鏡という3つの場タイプの1つが用いられる。

【0043】図4(A)を参照すると、ウェーハ5に対し直交して適用された均質軸方向の均一な磁場51が、壁に対する電子の動作を制限している。イオンは高周波場変動に追従することができないことから、イオンは電子不足に追従し、ウェーハ上のプラズマ内に集中せられる。最大の効率を得るためには、この及びその他の静的磁場を、高周波電磁場との共振に同調させることができる。すなわち、 $\omega/\omega_c = 2\pi f / \omega_c = Be/m$ 、ここでBは磁束密度であり、e及びmはそれぞれ電子の電荷及び質量である。

【0044】図2では、軸方向に発散する場52が示されている。磁気モーメントの変換により、磁場の軸方向勾配は円形並進エネルギーを軸方向並進エネルギーに変換し、電子及びイオンを、より強い領域域からより弱い領域へと駆動する傾向をもつ。発散する磁場を用いてプラズマ発生領域から電子及びイオンを押し、プラズマをウェーハに集中させることができる。

【0045】図4(C)及び図4(D)を参照すると、それぞれ移れ出しているつまり助成する磁場53（図4

(C)）及びカスプ形のつまり相対する場54（図4(D)）が示されている。これらのいわゆる「磁気鏡」場の各々の効果は、軸方向に発散する場の効果と似ている。すなわち荷電粒子は、比較的強い領域域（ここでは端部の）から比較的弱い中央領域域に向かって駆動される。

【0046】選択的に単数又は複数の磁石を位置づけ単一の磁石又は運動する磁石により提供される場の強度を選択し変化させることで、ウェーハにおけるプラズマの密度を増大させるため制御された形で付随する均一、発散又は磁気鏡の場が形成される。磁気鏡の場合、最大のプラズマ密度強化のために好ましいウェーハ位置は、最大のプラズマ密度強化を提供するようなバルジ又はカスプにあるか又はこのすぐ近くである。

【0047】プラズマの生成を強化するもののウェーハにおける磁場を除去するため、アンテナの平面に軸方向磁場を使用することが望ましい場合もある。高い透磁率をもつ材料（例えば軟鉄のための鋼又はニッケルといったもの）の環状コアを磁石及びアンテナ平面の下にだしウェーハの上に介在させることもできる。オプショントしては、交互の極配置でリング又は極磁石を構成することにより、下部チャンバ領域内で多極封じ込めを用いることができる。

9. 制御システム

ここで、以下の説明は、図5に示されている制御システムを参照しながら用いられる：

Psp : 電力設定点

Pf : 順方向電力 電源及びその内部に位置づけされた方向性結合器により測定される。

【0048】

Pr : 反射電力

|Z| : インピーダンスの絶対値

cpbi : インピーダンスの位相

Tsp : 同調設定点

Lsp : 負荷設定点

Tfb : 同調フィードバック（測定値）

Lfb : 負荷フィードバック（測定値）

図5は、電源を含むさまざまな構成要素を制御するためのシステムの一例のブロックダイアグラムである。ここではシステム制御装置500が、アンテナ電源501、インピーダンスブリッジ502、アンテナ25、パイアフ電源504、インピーダンスブリッジ505、マッチングネットワーク506及び陰極32にインターフェイスされている。イオン束密度及びイオンエネルギーのために選択されたプロセスパラメータアンテナ電力及び直流バイアスは、制御装置500に対して入力として供給される。制御装置500は同様に、ガス流、チャンバ圧力、電極又はウェーハ温度、チャンバ温度その他といったその他のパラメータをも制御することができる。制御装置500は、アンテナ25に接続されたTspi及びL

sp₁ ライン上で信号を発することにより、初期同調、
 10 10 負荷、条件を予め設定することができる。制御装置500は同様に、マッチングネットワーク506に接続されたTsp₂及びLsp₂ライン上で信号を発することにより初期同期、及び負荷、条件を予め設定することができる。標準的に、これらの条件は、プラズマ開始（ガフ降状）を最適化するように選択される。電力はまずアンテナ25又は陰極32のいずれかに適用されるか或いは又両方に同時に適用されてもよい。制御装置はPsp₁ライン上でアンテナ電源501へ又Psp₂ライン上でバイアス電源504へ同時に又は逐次的に（いずれかの順序で）電力設定点を発する。

【0049】電子なだれ降状は、気体中で急速に発生しプラズマを生成する。制御装置500は、アンテナ25へ及びアンテナ25からの順方向電力（P_f）及び反射電力（P_r）を監視し、陰極32へ及び陰極32からの順方向電力（P_f）及び反射電力（P_r）を監視する。直流バイアス（陰極対陽極直流電圧）も又、図示されているように制御装置500により監視される。制御装置500は、(a) 順方向電力P_f及び反射電力P_r又は
 20 (b) インピーダンス絶対値|Z₁|及びインピーダンス位相<phi₁>のいずれかに基づいてラインTsp₁及びLsp₁上で設定点を発することにより、アンテナ同調、及び負荷パラメータを調整する。ブリッジ502はインピーダンス絶対値と位相角についての情報を制御装置に提供する。アンテナ25は、反射電力P_rがほぼゼロであるとき及びインピーダンス（絶対値及び位相|Z₁|<phi₁>）がアンテナ電源出力インピーダンスの複素共役である場合に整合される。（ゼロ反射電力条件及び共役インピーダンス条件は同時に発生する。従って、反射電力を
 30 最小限にしてもインピーダンスをマッチングしても結果は同じである。代替的には、VSWR（電圧定任波比）又は反射計数を最小限におさえることもできる）。制御装置500は、(a) 順方向電力P_f及び反射電力P_r及び(b) インピーダンス絶対値|Z₁|及びインピーダンス位相<phi₁>のいずれかに基づいてTsp₂及びLsp₂ライン上で設定点を発することにより、陰極32及びマッチングネットワーク506同調、及び負荷パラメータを調整する。ブリッジ505は、制御装置500に対してインピーダンス絶対値|Z₂|及び位相<phi₂>についての情報を提供する。マッチングは、アンテナマッチングと同様に、反射電力P_rが基本的にゼロである場合及びインピーダンス（絶対値及び位相|Z₂|<phi₂>）がバイアス電源504出力インピーダンスの複素共役である場合に起こる。直流バイアスは制御装置500により監視され、この制御装置は望ましい測定された直流バイアスを得るためバイアス電源の出力電力を変化させる。制御装置500は、直流バイアスの望まれる値から直流バイアスの測定値を引く。その差が負である場合、バイアス電源504出力は増大される。その差が正

である場合、バイアス電源504出力は減少される（より高いバイアス電源504出力は、さらに負の直流バイアスを生成する）。この方法に従って、比例、比例-積分分又は比例-積分-微分制御又はその他の制御をこの方法に従って使用することができる。

【0050】代替的には、一定の直流バイアスを維持するべくバイアス電源504出力を調整する好ましい実施態様の代りに、一定のバイアス電源504出力を用いることもできる。制御装置500は、中央制御装置であっても、或いは又複数の制御装置の分散形システムであってもよい。

10. 送電線構造32

参考として示した私の米国特許出願明細書第559,947号に詳しく述べられているように、適切な同軸送電線設計は、マッチングネットワークからウェーハまでの低特性インピーダンスの短い送電線を介してのフィード及び送電線に沿っての戻り通路の両方を必要とする。この設計上の必要要件は、陰極32と、同心環状導線320及び、陰極32を取り囲み陰極を同心環状導線320から絶縁し、そうでなければ降状する可能性のあるプロセスガスを移動させるような非多孔質低損失絶縁体321を含む、図1に示されている一体型送電線構造32によって満たされる。例えば、テフロン又は石英材料は、高い誘電強度、低い誘電定数及び低い損失を有することから好まれる。この構造の入力側は、以下に説明する要領でマッチングネットワークに接続されている。絶縁された陰極320及び外部導線320は、マッチングネットワーク43とプラズマ16の間に別々の電流通路を提供する。1つの可逆的電流通路はマッチングネットワークから陰極320の外周に沿ってチャンバ（電極）表面にあるプラズマシースまでである。第2の可逆通路は、プラズマ16からチャンバ壁12の上部内側セクションに沿って、次に導電性排気マニホルダスクリーン29に沿って外部導線320の内側を介してマッチングネットワークに至るまでである。排気マニホルダスクリーン29は、均等な半径方向ガスポンプ送りシステムの一部であり、又RF電流のための戻り通路であることに留意されたい。

【0051】交流エネルギーの適用中、RF電流通路は、示されている方向と逆方向の間で交替する。送電線構造32が同軸ケーブルタイプの構成のものであるため、又さらに限定的に言うと、陰極320のより高い内部インピーダンス（その外側との関係における）及び導線320の外部表面に向かってのより高いインピーダンス（その内部表面との関係における）のため、RF電流は、陰極320の外部表面及び外部導線320の内部表面へと同軸送電線の要領で強制される。表皮効果がRF電流を送電線の表面近くに集中させ、電流通路の有効断面積を減少させる。例えば、直径4-8インチのウェーハとい
 50 った大きなウェーハ及びそれに比例して大きい直径の陰

極32C及び大きい直径の外部導線320の使用は、送電線構造に沿って大きな有効断面積、低いインピーダンスの電流通路を提供する。

【0052】同様に、同軸タイプの送電線構造32がその特徴的インピーダンス Z_0 に等しい純粋抵抗で終結されたらば、マッチングネットワークはそのとき送電線の長さの如何にかかわらず一定のインピーダンス Z_0 を見ることがなる。しかしながらここでは、プラズマは一定範囲の圧力及び電力にわたり作用しておりしかもプラズマが送電線32の端部に与える負荷インピーダンス Z_L を集散的に変化させるような異なるガスを含んでいることから、これに該当しない。負荷 Z_L は、理想的でない（すなわち無損失でない）送電線32から不整合されているため、送電線上に存在する定在波は、送電線とマッチングネットワーク31の間の抵抗、誘電などの損失を増大させることになる。マッチングネットワークを用いてあらゆる定在波及びそれに続くマッチングネットワークの入力端から増幅器又は電源30への損失を無くすることも可能であるが、マッチングネットワーク、送電線フィード32及びチャンバ内のプラズマは、送電線32とマッチングネットワーク43間の抵抗、誘電などの損失を増大させる共振システムを構成する。要するに、負荷インピーダンス Z_L は損失と不整合させられることになるが、損失は $Z_L \sim Z_0$ のとき最小である。

【0053】負荷不整合による損失を低減するためには、同軸タイプの送電線構造32は、プラズマ作業に付随する負荷インピーダンスの範囲に最もうまく適合された特徴的インピーダンス Z_0 を有するように設計されている。標準的に言って、上述の運転パラメータ（例：約5～50 MHzのバイアス周波数範囲）及び対象材料の場合、プラズマによって送電線に提示される直列等価RC負荷インピーダンス Z_L は、1オームから30オームまでのだいたいの範囲内の抵抗及び50ピコファラドから恐らくは400ピコファラドまでのおおむその範囲内のキャパシタンスを含むことになる。従って、最適なものとして、負荷インピーダンス範囲すなわち約10オームから50オームの範囲内に集中するような送電線の特徴的インピーダンス Z_0 が選択される。

【0054】マッチングネットワークが見るプラズマインピーダンスの変成を避けるためには、送電線32が非常に短いものであることが必要である。好ましくは、送電線は、 $1/4$ 波長すなわちラムダ/4よりほかに小さく、さらに好ましくは約(0.05～0.1)ラムダである。さらに一般的に言うと、負荷に対し $1/4$ 波長よりほかに小さい距離のところにマッチングネットワークを位置づけることが不可能である場合、半波長の整数倍 $n=1, 2, 3$ 等々（ラムダ/2；ラムダ；3/2ラムダ等々）に等しい送電線長を用いることによりインピーダンス変成に付随する半波長の周期性を利用する。さらに厳密に言うと、好ましい値は、ラムダ/

2から（ラムダ/2+0.05ラムダ）；ラムダから（ラムダ+0.05ラムダ）；3/2ラムダから（3/2ラムダ+0.05ラムダ）等々である。このような条件の中では、 $1/4$ 波セクション（又は n を奇数として n ラムダ/4）が $Z_L = Z_0$ となるように Z_0 を変成し（ここで Z_0 は標準的に小さい）かくして非常に大きな Z_L を生成することから、マッチングネットワークは、 $1/4$ 波長の奇数整数（ $1/4$ ラムダ、 $3/4$ ラムダ、 $5/4$ ラムダ）のところに位置づけられてはならない。このときこのマッチングネットワークはプラズマ負荷と整合できず、受諾できないシステム共振及びロス損失無しにプラズマに電力を結合することは非常にむずかしいことになる。

【0055】同様に、電力を効果的に結合するためには、戻り導線320の内径（断面直径）は中心導線32Cの外径（断面寸法）よりもはるかに大きいものであってはならない。要するに、チャンバは、マッチングネットワーク31からプラズマ33の電力を結合する送電線構造を内包する。この送電線構造は(1)好ましくは、問題の周波数における $1/4$ 波長に比べ非常に短いが、或いは又代替的には半波長の整数倍にはほぼ等しく、かくしてプラズマインピーダンスの望ましくない変成を防いでいる；(2)プラズマとマッチングネットワークの間のライントの定在波の存在による損失を抑制するよう選択された特性 Z_0 を有する；そして(3)中心導線のものよりもかなり大きい外部導線断面寸法を用いている。

11. その他の特長

本発明の好ましい特長は、一定の陰極（ウェーハ）シェース電圧を維持するため自動的に「ボトム」電力を変動させることにある。きわめて非対称なシステムにおいて低電力（＜500mW）で、陰極において測定された直流バイアスは、陰極シェース電圧に近い近似値である。ボトム電力は、一定の直流バイアスを保つべく自動的に変化させることができる。ボトム電力は、プラズマ密度及びイオン電流密度に対しほとんど影響を及ぼさない。トップ又はアンテナ電力は、プラズマ密度及び電流密度に対し非常に強い効果を及ぼすが、陰極シェース電圧に対しては非常に小さい影響しか及ぼさない。従って、プラズマ及びイオン電流密度を規定するにはトップ電力を又陰極シェース電圧を規定するにはボトム電力を使用することが望ましい。

【0056】リアクタチャンバシステム10内に内包させることのできる特長としては、吸気マニホールド27の内部及び/又は外部温度を一定の値以上又は以下に或いは一定の範囲内に維持するための流体伝熱媒体の使用；陰極32Cを加熱又は冷却するための流体伝熱媒体の使用；チャンバの壁12又は上部13を加熱又は冷却するための流体伝熱媒体の使用；陰極32Cの抵抗加熱；ウェーハ15と陰極32Cの間に気体伝熱媒体の使

用；及び陰極320にウェーハを締めつけるための機械的又は静電式手段、が含まれるが、これらに限られるわけではない。このような特長は、本書に参考として内含される1989年10月10日発行の共同譲渡の米国特許第4872, 947号及び1989年6月27日発行の共同譲渡された米国特許第4, 842, 692号に開示されている。

【0057】本発明に基づくプラズマリアクタシステムは、従来通りの方向性つまり垂直方向に、基板5が電極32（陰極）の上にありアンテナが電極5の上に位置づけられた状態で、図1に示されている。便宜上、アンテナ25に供給される電力を「アンテナ」又は「トップ」電力と呼び、電極/陰極32に供給される電力を「ボトム」電力と呼ぶ。これらの表現及び名称は、便宜上のものにすぎず、記述されているシステムを逆転させるつまり電極32を上にしてアンテナをこの電極の下方に位置づけた状態で構成することも可能であり、或いは又変更無しに水平方向といったその他の形で方向づけることもできる。要するに、このリアクタシステムは方向性とは無関係に作動するのである。逆転構成においては、プラズマはアンテナ25で生成され、明細書に記されているのと同じ要領でアンテナの上方に位置づけられた基板5まで上向きに輸送される。すなわち、活性種の輸送は、拡散及びバブルフローにより起り、オプションとしては軸方向勾配をもつ磁場によって補助される。このプロセスは、重力に存在しておらず、従って、方向性による影響が比較的少ない。逆転した方向性は例えば、気相内のプラズマ生成領域内又は表面上に形成された粒子が基板上に落ちる確率を最低限におさえるのに有効でありうる。このとき重力はこのような粒子が最小のもの以外全て重力による電位の傾きに対し上向きに基板表面まで移動する確率を減少させる。

【0058】本発明のチャンバの設計は、高低両方の圧力でのオペレーションに有効である。ウェーハ支持陰極320とアンテナの平面の間隔とは、高低両方のオペレーションに合わせて調整することができる。例えば500ミリメートル〜50トールでの高圧オペレーションは好ましくは、 $d \leq 5$ センチメートルの間隔を使用し、一方0.1ミリメートル未満〜500ミリメートルの範囲内での低圧オペレーションの場合 $d > 5$ センチメートルの間隔どりが好ましいものでありうる。チャンバは、図示されているように固定間隔 d を内含することができるし、或いは又互換性ある又は入れ子式の上部チャンバセクションといった可変の間隔どりの設計を使用することもできる。リアクタシステム10は、酸化シリコン及び窒化シリコンといったような材料の高低圧析出；二酸化シリコン、窒化シリコン、シリコン、ポリシリコン及びアルミニウムといった材料の低圧異方性反応性イオンエッチング；このような材料の高圧プラズマエッチング、及びウェーハ微細構成の平坦化を含むこのような材

料の同時析出及びエッチングが関与するCVDファセットティングといったプロセスに有効である。リアクタシステム10を使用することのできるこれらの及びその他のプロセスは、本書に参考として内含されている。1990年7月31日 Collins他の名で提出された「半導体ウェーハ上へ集積回路構造の形成に使用するためのVHF/RFプラズマ方法」という題の共同譲渡された米国特許出願明細書（AMAT出願番号151-3）に記述されている。

12. 装置例

本発明のシステムの現在作動中の実施例は、図1及び2に示されたドーム形構成及びアンテナ構成を内含している。短径の石英のベル形ジャーチャンバ17は、6インチの直径をもつ。ラムダ/2、200 MHz、直径8インチのアンテナ25は、アース平面から（下りに）約4インチ間隔どりで両端で接地され、ドーム形の処理チャンバ17をとり囲んでいる。反応性負荷マッチングは、可動プレート4の可変コンデンサ4.9により供給される。同時に、共振に対するアンテナの容量性微同調は、可動プレート同調コンデンサ4.8により提供されている。コンデンサ4.8のプレートは1.14インチ×2.12インチの法で、固定プレート4.9はアンテナの接地端に接続され、可動プレート4.8 Mの間隔どりは、可動プレートを固定プレートにとりつけるマイクロメータ（図示せず）により提供される。プレートの離隔距離は、同調された時点で100ミルである。オープンエンド（上部で）式のファラデーシールド4.6はアルミニウム材料で、連続的に接地されている。材料の反射係数は $d_1, d_2, d_3 < \lambda/4$ という条件を満たす。1キロワット、200 MHzの高周波RFエネルギーを用いたオペレーションは、ウェーハまでアンテナの下流（すなわち下方）約4インチ広がるプラズマを提供する。これはウェーハにおいて下流で $1-2 \times 10^{12}/\text{cm}^3$ のプラズマ密度と $10-15 \text{ mA/cm}^2$ のイオン飽和電流密度を提供する。アンテナから下方（下流）約4インチの支持電極上に位置づけられた5インチのウェーハに適用された13.56 MHz、200ワットの低周波補助バイアスは、200ボルトの陰極シース電圧を提供する。

13. 方法例

本発明を実施した上述のリアクタは、反応性イオンエッチング（RIE）、高圧プラズマエッチング、スパッタファセット析出及び平坦化を含む低圧化学蒸着（CVD）及び高圧コンフォーマル等方性CVDなどといった数多くのプラズマプロセスのためにのみ有効である。その他の応用分野としては、スパッタエッチング、イオンビームエッチング又は電了、イオン又は活性中性プラズマ供給源として、などが含まれるがこれらに限られるわけではない。

【0059】RIE及び低圧CVDは標準的に最高50

0 ml (ミリリットル) の圧力を用いる。高圧プラズマエッチング及び高圧コンフォーマル等方性CVDプロセスは、約500 mlから約500 lまでの圧力で実施される。

(a) 反応性イオンエッチング (R I E)

本発明に従うと、R I Eモードで、酸化シリコン、シリコン (単結晶シリコン)、ポリシリコン (多結晶シリコン)、アルミニウム及びその他の材料をエッチングすることができる。この目的のため、高周波em (電極) エネルギは、ほぼ閉ループのアンテナ25によりプラズマに結合される。標準的には、陰極32 (ウエハ支持電極又は陰極) に対し比較的低周波数の交流エネルギーが加えられる。望ましいイオン束密度を得るためには高周波アンテナ電力が選択され、望ましい陰極シース電圧についてはイオンエネルギーを独立して制御するため低周波交流バイアス電力が選択される。低圧アプリケーションつまり約0.1 ~ 500 ミリメートルの範囲内の圧力が関与するアプリケーションにおいては、陰極又はウエハシース電圧は陰極の直流バイアスと合わせて選択し、その結果、バイアス電圧の計測値を陰極又はウエハシース電圧値を監視するのに用いることができる。

【0060】標準的には、有効な高周波数emエネルギー範囲は50 ~ 800 MHzであり、好ましい有効範囲は50 ~ 400 MHzであり、最も好ましい範囲は50 ~ 250 MHzである。比較的低い周波数のACエネルギー (バイアスエネルギー) 範囲は10 KHz ~ 50 MHz、100 KHz ~ 30 MHz及び5 ~ 15 MHzである。相反する規定のない限り、この番号づけした節の中で以前に規定した周波数及び圧力の範囲は、以下のR I E表に規定されたプロセスパラメータにあてはまる。有効な、好ましい及び最も好ましい範囲は、一般に表中の範囲1、2及び3に相当する。

【0061】R I Eの例1: シリコン重合体上の酸化シリコン (接触窓エッチング Contact Window Hole Etch)

酸化シリコンのR I Eの第1の例として、下層のシリコン重合体のゲートに対して酸化物により接触窓を形成することを考えてみる。この応用例はシリコン重合体若しくは下層のゲート酸化物に対して損傷を与えない、マイクロローディングがない、酸化物・重合体の選択性が高いこと (20/1)、垂直な酸化エッチング断面となること、および高い酸化エッチングレートであること (通常の酸化物の厚さは1ミクロン以上である) を含む複数の条件を充足するよう考えられたものである。高い選択性のためにエッチング・プラズマにおいておよそ500 eVのイオン・エネルギーを必要とする。

【0062】この分野の熟練者に知られており、酸化物において接触窓のエッチングのために好適な化学作用ガスは主要なエッチング用試薬としての高いエッチング率のフッ素を含み、エッチングの選択性を高めるために

炭素および酸素化合物ガスを含みうる。用いられるガスを特定するとすると、 CHF_3 、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_4F_8 、 CH_4 、 H_2 、 NF_3 、および SF_6 などが考えられる。好ましいフッ素に対する炭素の割合はC/F = 0.1/1から2/1であり、水素が含まれる場合は、好ましいフッ素に対する水素の割合はH/F = 0.1/1から0.5/1である。アルゴンはより好ましい不活性ガスの不純物である。なぜなら、それは比較的質量の大きい、かつ不活性なものであり、R I Eプロセスのスパッタエッチング要素に貢献して、垂直方向の異方性を改善するものであるからである。

【0063】1 Kw、200 MHzの高周波パワー ("アンテナ" 若しくは "上部" 出力電力) 600 W、13 ~ 56 MHzの補助バイアス ("下部" 若しくは "バイアス" パワー)、10 ~ 30 ミリメートルの圧力を用いて、化学作用ガス CHF_3 (アルゴンおよびガス流量100 sccm/120 sccmにより、20/1の重合物に対する酸化物の選択性で5.0/0 ~ 7.0/0のプラズマトーム/分の酸化エッチング率となる。

【0064】表1は上述の厳しいエッチング条件を満たす典型的な接触窓エッチングプロセスを要約するものである。

R I Eの例2: 金属上の酸化シリコン (エッチング穴を介して)

シリコン酸化物のR I Eエッチングの第2の例として、エッチング穴を介してシリコン酸化層から下層のアルミニウム導電層若しくは他の金属層へのエッチングを考えてみよう。本例においては、決定的な条件として、下層の素子に対して損傷を与えないこと、下層のアルミニウムに損傷がないこと (すなわち、スパッタリングがないこと、垂直な酸化エッチング断面となること、および高い酸化エッチング率であることなどの複数の条件を充足する必要がある。これらの目的のために好適な化学作用ガスはフッ素化合物、代表的に炭素である。水素も酸化物、フォトリソのエッチングの選択性を改善するために用いられる。用いられるガスを特定すると、 CHF_3 、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_4F_8 、 CH_4 、 H_2 、 NF_3 、および SF_6 などが考えられる。好ましい割合はC/F = 0.1/1から2/1であり、Hが存在する場合、H/F = 0.1/1から0.5/1である。前出の酸化物の例においても同様、アルゴンが好ましい不活性ガス添加物となる。なぜならば、それは比較的、質量が大きい、R I Eプロセスの (酸化) 化合物のスパッタエッチングに貢献し、本プロセスの垂直方向の異方性を改善するためである。また、低位のカソード・シース (cathodesheath) の電圧は通常300ボルト以下であるが、アルミニウムをスパッタリングしないようにすることが望ましい。好ましいのは、その電圧は200ボルト以下であり、およそ100 ~ 150ボルトが最も好ましい。1 ~ 5 KW、200 MHzの上部電力、10 ~ 30 ミリメートルの圧力、200ボ

ルトのカソード・シース電圧を供給するための13.56 MHzでおよそ200ワットの降圧されたバイアス若しくは下部電力により、7.5/7.5/120の流れ率の $\text{CH}_3/\text{CF}_4/\text{アルゴン}$ の化学作用ガスはアルミニウムをエッチングすることなく、4,000～5,000オングストローム/分の割合でエッチングを行う。 CF_4 、 C_2F_6 、 C_4F_8 、 CH_3 、 F 、 H_2 などの他の化学物質が用いられることは本技術の熟練家に知られているとおりであり、それらを様々な組み合わせで用いることもできる。

【0065】表2は穴を介してのエッチングに好適なシリコン酸化物エッチングプロセスを表すものである。表2の代表的なカソード・バイアス電圧は好ましいカソード・シース電圧をもたらしている。

R I Eの例3：酸化物スパッタエッチング

表3は第3の非反応的なイオンエッチングによる酸化物エッチングプロセス、すなわち酸化物スパッタを行うための代表的な処理パラメータを示している。このプロセスは比較的、非反応であるガス、好ましくはアルゴンをを用いて、あらかじめ作り込まれていた膜の再生 (etch back) およびシリコン上にもともと存在する酸化物の除去のために有益である。

【0066】R I Eの例4：選択的なシリコン重合体のエッチング (選択的に酸化物につながる重合体ゲートのエッチング)

シリコン重合体のR I Eエッチング、特に下層の酸化物層などの酸化物に対する選択的なシリコン重合体のエッチングにはゲートおよびゲート酸化物の内部接続のために損傷がないこと、マイクロレチングがないこと、垂直なシリコン重合体のエッチング断面となること、重合体/酸化物のエッチングの選択性が高いこと (通常、3対1以上)、適度なエッチング率であること (重合体の厚さは2,000～5,000オングストローム) により特徴づけられるエッチングプロセスを必要とする。表4を参照すると、これらの目的を達成するための好適な化学作用ガスはハロゲンを含むガス化合物を含んでいる。通常のエッチング温度、すなわち0℃あたりより高い温度では塩素または臭素が好ましい。-10℃より低くなると、フッ素が用いられる。また、垂直エッチングの異方性を高めるために、アルゴン若しくはヘリウムなどの不活性ガスがそのような化学作用ガスに添加されてもよい。重合体/酸化物のエッチングの選択性を改善するために酸素などの他の添加ガスが加えられてもよい。上述のアルミニウム上の酸化物のR I Eエッチングにおいてそりであったように、低いカソード・シース電圧 (200ボルトより低く、さらには100ボルトより低く、よりさらには50～100ボルト) が重合体/酸化物のエッチングの高い選択性を得るためには好ましい。

【0067】次のプロセス・パラメータは3.5/1のシ

リコン重合体/酸化物の選択性により3,000～4,000オングストローム/分のシリコン重合体のゲート形成エッチング率をもたらすものである。すなわち、共振器のところで動作する500ワット、200 MHzの上部出力、およそ75ボルトの低いカソード・シース電圧をもたらす、13.56 MHzで100ワットの下部出力、10～15ミリの圧力、80 sccm、400 sccm/分 (0～4 sccm) の流れ率のエッチング化学作用ガス $\text{C}_2\text{F}_6/\text{He}/\text{O}_2$ (酸素は選択的なもの) というパラメータである。 BCl_3 などの他の塩素化合物が用いられてもよい。

【0068】R I Eの例5：アルミニウムエッチング

表5は下層の素子に損傷がないこと、およびアルミニウムの腐食がないこと、そして高いアルミニウムのエッチング率 (通常は5,000～10,000オングストローム/分) となることの条件を満たすアルミニウムのR I Eエッチングのためのプロセス・パラメータを示すものである。好適な化学作用ガスは塩素および臭素化合物であり、それらが単体で若しくは組み合わせられて用いられる。アルゴンなどの比較的、非反応的、不活性なガスが断面制御の目的のために用いられる。塩素と化合した物質によるエッチングの後のアルミニウムの腐食を最小とするために、フォトリソのフトリップおよびフッ化アルミニウムによる表面処理が同室または他の室において施される。

【0069】R I Eの例6：単結晶シリコンエッチング

表6は損傷 (通常のR Dシステムにおける高いエネルギー衝撃により引き起こされる格子損傷) がなく、垂直なシリコンエッチング断面となること、すなわち、高い面比率 (1.5/1) となるという処理条件に従う単結晶シリコンのR I Eエッチングのための代表的な実証済みのパラメータを示すものである。化学作用ガスはハロゲン化合物を含み、より好ましくは、断面制御のためのヘリウム、酸素などの添加物 ($\text{HBr}/\text{SiF}_4/\text{NF}_3/\text{O}_2/\text{He}$) と同様に断面制御のために、臭素およびフッ素化合物 (例えば、 $\text{HBr} + \text{SiF}_4$ 若しくは $\text{HBr} + \text{SiF}_4 + \text{NF}_3$) の両者を含む。

【0070】R I Eの例7：タンダラムエッチング

表7は下層の素子に損傷を与えることなくR I Eエッチングを行うタンダラムのためのプロセス・パラメータを表わしている。このプロセスは NF_3 または SF_6 などのフッ素化合物と、そして、選択的にスパッタエッチングの要素を増加させる目的のためにアルゴンなどの不活性ガスを含む化学作用ガスに基づいている。

【0071】R I Eの例8：異方性のフォトリソのエッチング

フォトリソの異方性R I Eエッチングは例えば、より高純度の素子のために防食物質をパターン配置するために用いられる。プロセスのための条件は垂直なエッチング断面となり、下層の素子に損傷を与えないことであ

る。表8はRIEを用いたフォトリソの異方性のパターン化を施すためのパラメータを示している。関連する化学反応ガスは酸素を含み、選択的に CF_4 、 C_2F_6 、 NF_3 、および、または SF_6 などのフッ素化合物ガスを含む。ウェハはフォトリソが腐蝕になることを避けるために、低い温度、より好ましくは125度より低い温度、最も好ましくは75度より低い温度に維持される。ウェハ保持体の液体冷却の装置の説明のところで前述されたとおり、電極/カソード/バディスタルが必要な温度制御を行うために用いられる。

【0072】異方性の断面は200 MHz、1 KW の上部出力、10~30 ミリトルの圧力、 O_2 が30~100 sccm、 CF_4 （選択的なものであるが）が10~50 sccmの流量率である化学反応ガス、13.56 MHzで0~200ワットの下部バイアス、および0Vのカソード電圧を用いてフォトリソ内にエッチングされる。

RIEの例9 障害層のエッチング

チタニウム、タンゲステン、または窒化チタニウムなどの物質からなる障害層は酸化物、アルミニウムなどの物質からなる層の間に形成される薄い層である。例えば、障害層は積層された酸化物層における通路穴の形成の際のアルミニウムの損傷/エッチングを防ぐために用いられる。この障害層は酸化物通路エッチングの後で、かつ、アルミニウムへの適宜なオーム接触を許容するためにその通路を満たす前に取り除かなければならない。そのような障害層エッチング・プロセスの重要な特徴は例えば、下層のアルミニウムをスパッタリングすることにより、下層の層または素子に損傷を与えないことである。表9は塩素化合物、およびフッ素化合物の構成物を含むハロゲンを基体とする化学作用ガスのためのプロセス・パラメータを表わしている。

【0073】(b) 光エッチング

いわゆる光酸化物エッチングは更なる損傷を与えることなく、酸化物またはシリコン重合体などの物質からなる破損した薄い層を除去するために、主要な酸化エッチングステップの後に用いられる。本光エッチングは低い衝撃エネルギーを用いて（ウェハ保持体の電極/カソードのところで）下方向のエッチングを施すことによって、部分的に更なる損傷を与えることなく、損傷部分は除去するという条件を満たすものである。表10はフッ素化合物の化学作用ガスを用いた好適な光酸化エッチングプロセスを表わしている。表10の光酸化エッチングプロセスはフッ素化合物ガスに代えて、 Cl_2 などの塩素化合物構成ガスを用いることによりシリコン重合体のための光エッチングプロセスに変更される。

【0074】一実施例においては200 MHz、200~1,000ワットの上部出力でバイアス若しくは下部出力なしで、10~50 ミリトルの圧力で30~120 sccmの流量率の CF_4 により、100~1,000オングストローム、すなわち低いエネルギーの酸化物エッチング

レートとなる。

(c) 高圧プラズマ・エッチング

本発明に従えば、シリコン酸化物、シリコン重合体、フォトリソ、および他の物質は高圧プラズマ・エッチング・モードにおいてエッチングされる。基本的な特徴および動作は11章の表題の下第1節のところで前述されたとおりである。特に、高周波のRFエネルギーが実質的に閉じたループ・アンテナによりプラズマに結合される。比較的低い周波数のACエネルギーが必要に応じてカソード（ウェハ保持体の電極/カソード）に印加されてもよい。高周波のアンテナ出力は所要のイオン束密度を得るために選択され、低周波のACバイアス出力は所要のカソード・シース電圧、そして、イオン・エネルギーを独立に導て制御するために選択される。

【0075】次のようにバイアス出力および圧力を選択することによって、断面制御が高圧エッチングの間に可能となる。高圧（1~50トル）および低バイアス出力（0~200W）で、このプロセスは等分性若しくは水平方向に準異方性となりうる。バイアス出力を増加し、（200W~1,000W）および/または圧力を低減する（50 Torr~1 Torr）ことによって、このエッチング・プロセスは垂直方向に準異方性若しくは垂直方向に異方性となりうる。一般に、バイアス出力を増加/低減すると垂直方向の異方性を増加/低減することとなり、圧力が増加/低減すると、垂直方向の異方性を増加/低減することとなる。通常、有益なアンテナおよびバイアスの周波数は各々、50~800 MHzおよび10 KHz~5 MHzであり、より好ましい有効な範囲は50~400 MHzおよび100 KHz~30 MHzであり、現在までの最も好ましい範囲は50~250 MHzおよび5~15 MHzである。

【0076】高圧プラズマ・エッチング：等分性酸化物エッチング

図6はフォトリソ・パターン設定マスク604を用いて接触子若しくは通路穴601が酸化物層603を介して下層の導電体602にエッチングされた後に存在する構造を示すものである。集積回路素子がますます小さくなり、それに応じて通路穴601などが狭くなるにつれ、穴を満たすことはますます困難となる。図7を参照すると、図6の606のところに示されるように、まず穴の上部を拡げることによりアルミニウムの充填はより容易となった。拡げるためのステップには水平方向のエッチング要素を有するエッチング・プロセスを必要とする。さらに、このエッチング・ステップは集積回路部分を破損しないようにすることが望ましい。表11の本プロセスはこれらの条件を満たし、方向の制御を必要とする他の応用例に対すると同様に図7の描かれた応用例にも理想的に適合する。

【0077】さらには、前述のごとく、バイアス出力および圧力はバイアスなしか、またはとても低いバイアス

41

で比較的高い圧力(3~5.0 torr)を用いた水平方向選択から、バイアスなしから低いバイアス(0~2.0 W)で適度な圧力(1~3 torr)による等方向性が、より低い圧力(5.0 mtorr~1 torr)でより高いバイアス(2.0~1.0 W)による垂直方向選択に、エッチングの方向性を定めるために選択される。表11に示されるように、ウェハの温度はフォトリソが網状となり、その結果、パターン設定が損失することを防ぐ目的のために、12.5℃より低く維持される。

【0078】2.00 MHz、1~1.5 KWの上部出力でおよそ1 torrの圧力、5.00 sccm~2.000 sccmのN₂若しくはCF₄、かつ、およそ60~75℃のアソード温度であれば、等方向性のシリコン酸化物エッチング・レートはおよそ2.500~4.500 オングストローム/分となる。

フォトリソ・ストリップ

厚いフォトリソ・マスクを描くためには関連する集積回路部品に損傷を与えることなく、かつ、エッチング残留物なしの高いフォトリソ・エッチング・レートが必要となる。下部方向のプロセスがより好ましい。表12は主としてフォトリソ・エッチング用物質として酸素を含み、選択的にストリップ・レートを増加させる目的のために窒素を含み、および/または、より好ましくは(アルミニウムの)表面処理のためのフッ素化合物を含む、化学作用ガスに基づく好適なプロセスを示している。ウェハの温度はレジストが網状になること(resist: reticulation)を避けるために30℃より低くなるよう制御される。さらに、表中の第3の例(領域3)はフッ素の表面処理を行うものである。

【0079】高速の下部方向のフォトリソ・ストリップ・プロセスでは2.00 MHz、1~1.5 KWの上部出力(バイアス若しくは下部出力はなし)、およそ1 torrの圧力、O₂が8.00~1.000 sccm、N₂(選択的なものであるが)が1.00~2.000 sccm、CF₄(選択的なものであるが)が0~1.000 sccmの流量率のエッチング用化学作用ガス、および100~200℃のカソード温度(ストリップ・レートは温度に依存する)により、分当たり1~3マイクロメートルのストリップ・レートとなる。

12. 化学蒸着(CVD)

本発明によると、低圧の化学蒸着(LPCVD)がシリコン酸化物、(ホウケイ酸ガラス(BSG: borosilicate glass)、リンケイ酸ガラス(PSG: phosphosilicate glass)、ホウリンケイ酸ガラス(BPSG: borophosphosilicate glass)を含む)ホウ素酸化物およびリン添加酸化物および窒素プラズマを含む様々な物質を蒸着するのに用いられる。CVD(化学蒸着)を行うためのアンテナ、バイアスおよび圧力の範囲は前述のRIEエッチング・プロセスのために用いられたものと同様である。すなわち、プラズマに結合される高周波emエ

42

ネルギーは50~800 MHzで有効であり、好ましくは50~400 MHzであり、現在までのより好ましい範囲は50~250 MHzである。比較的低い周波数のACエネルギーが必要ときに、10 MHz~50 MHz、100 MHz~300 MHz、および5~15 MHzの範囲を使用してウェハ保持装置の電極/カソードに印加される。高い周波数のアンテナ出力は所要のイオン束密度を得るよう選択され、より低い周波数のACバイアス出力は所要のカソード・シース電圧、そしてイオン・エネルギーを独立に得て、制御するために選択される。好ましくは、圧力は0.1~5.00 mtorrの範囲内にあり、より好ましくは1~1.00 mtorrの範囲内にある。

【0080】また、本発明によると、高圧の化学蒸着(HPCVD)は前節で説明した高い周波数のアンテナ・エネルギーおよび低い周波数のバイアス・エネルギーを用いて、かつ代表的には5.00 ミリトルより高い圧力を用いて前出の節で説明したようなものを含む様々な物質を蒸着するのに用いられる。HPCVDの応用例において、高周波のemエネルギーは実質的に閉じたループ・アンテナによりプラズマに結合され、比較的低い周波数のACエネルギーはウェハ保持装置の電極に印加される。本実施例において、高い周波数の出力が所要のプラズマ密度を得るために選択され、低い周波数のACバイアス出力は所要のカソード・シース電圧、そしてイオン・エネルギーを独立に得て制御するために選択される。HPCVDプロセスのためには、元の分子およびイオンの束密度の両者が重要である。高い圧力はイオン蒸着物に対する元の分子の蒸着物の比率を変えるのに用いられる。比較的高い圧力(5~5.0 mtorr)で低いバイアス(0~2.00 mtorr)であれば、イオンに対し、より多くの分子を生成し、より低いバイアスであれば、イオンの方向性はより小さくなる。およそ5.00 mtorr~5.0トルの比較的低い圧力で高いバイアスであれば、イオンに対し、より少ない数の分子となり、およそ2.00~1.000 Wの高いバイアスであれば、イオンの方向性はより大きくなる。これらのパラメータを制御することにより、蒸着された薄膜の均質性の度合いは高圧、バイアスなしの条件下での少し水平方向選択から、適度な圧力で、非常に低いバイアスかバイアスなしによる等方向性が、より低い圧力で、より高いバイアスでの垂直方向選択へと変えられる。水平方向選択の圧力は10~50 トルでバイアスはなし、等方向性の場合、圧力は5~10 トルで、バイアスは0~2.00 W、そして、垂直方向選択の圧力は5.0 mtorr~5.0トルでバイアスは2.00~1.000 Wである。

【0081】(a) 低圧CVD

①窒化プラズマおよびオキシ窒化プラズマ

窒化プラズマおよびオキシ窒化プラズマの応用例として表面処理層および金属間の絶縁がある。このような適用例において、関連する蒸着プロセスによって素子を破壊してはならない。表面処理層を形成するのに用いられる

ときは、本プロセスは圧力制御を伴った好適な湿気遮断物を設けなければならない。金属間の絶縁体を蒸着するのに用いられるときは、ステップ・カバレージ (step coverage)、高い絶縁強度、制御される物理的属性 (圧力)、電気的属性 (絶縁強度および絶縁定数)、光学的属性 (吸収スペクトラム)、および化学的属性 (水素含有量) を設定しなければならない。なお、通常の窒化プラズマおよびオキシ窒化プラズマでは化学量的なものではなく、むしろ、蒸着される窒化物質は Si-H-N であり、オキシ窒化物質は Si-H-O-N である。

【0082】通常、この化学作用ガスは水素含有量の少ない窒素が必要であるときは、シラン (silane) および窒素を含み、高い水素含有率でも耐えうる場合は、シラン、窒素およびアンモニアを含み、化学作用ガスが亜酸化窒素および酸素そのものなどの酸化化合物を含み、通常はより低い窒素の流量率であることを除いてはオキシ窒化物についても同様に考えることができる。窒素プラズマ蒸着およびオキシ窒化プラズマ蒸着のための対応するプロセスは表13および14中に各々、要約される。

【0083】LPCVD酸化物

LPCVDシリコン酸化物の適用例には金属間絶縁がある。重要な処理条件にはLPCVD窒化プラズマに関して前に詳述したように、下部の素子に損傷を与えないこと、ギャップを充填する能力があること、高効率の蒸着、および物理的、電気的、光学的、化学的属性を制御することなどがあげられる。通常このプロセスのための化学作用ガスは (シランまたはTEOSなどの) シリコン化合物ガス (酸素そのものまたは亜酸化窒素の) 酸化化合物ガス、そして、選択的に、(代表的にはアルゴンなどの) 不活性ガスを含む。BSG、PSG、およびBPSGガラスとするためにホウ素およびリン添加物を追加してもよいし、また、例えば、段差被覆 (ステップ、カバレージ) を改善する目的のためにヒ素添加物が追加されてもよい。関係するプロセスは表15に要約されている。

【0084】上述のLPCVD酸化物プロセスに関する一変形例はバイアス・スパッタ蒸着であり、それは2つのステップのプロセスである。まず、表15のプロセスが用いられるが、薄い酸化物層を蒸着するために下部のバイアスはなしで、確実にアルミニウムがスパッタリングされないようにする。次に、下部のバイアスおよびアルゴン流が表15に示されるようにスパッタのファセット (facet) 蒸着を行うために追加される。

【0085】第3の変形例においては、スパッタ・エッチング・レートに対するバイアスされない蒸着・レートとの割合がウェハの形状を平坦化するよう選択されるように、バイアス・スパッタ蒸着プロセスを変形することによって、シリコン酸化物の平坦化が行われる。スパッタ・エッチング・レートはバイアスと圧力とにより決定

されるのに対し、バイアスされない蒸着・レートはアンテナ出力と反応物質とにより決定される。したがって、この割合は4つの要素、すなわちバイアス出力、圧力、アンテナ出力、および反応物質の流量率を選択することにより決定される。

【0086】第4の変形例においては、蒸着プロセスの間に容易に流れて、特徴部位間の大きな面積を充填する。 B_2O_3 などのような物質を組み入れることによって、シリコン酸化物の平坦化が全体的若しくは大きな面積での平坦化プロセスをもたらすように拡張される。例示の B_2O_3 については、関連する化学作用ガスはTMB (トリメチルホウ酸 (trimethyl-borate) および O_2) (選択的には不活性ガス (He)) である。

【0087】3) CVD低圧ファセット蒸着

本プロセスにおいて、しばしばCVDファセット・プロセスとして知られているが、充填物質においてスキューがでることが避けるために、薄い酸化物または窒化物を蒸着すると同時に、シリコン・ウェハの溝の外側 (上部) の角に蒸着された物質 (例えば、酸化物若しくは窒化物) のエッチングが行われる。先行技術においては、そのような切り出し (faceting) および蒸着はECR/マイクロウェーブ周波数のプラズマCVDにおいて同時に行われた。先行技術ではプラズマによるCVDが13.56MHzなどの高周波により行われていたため、所要の切り出しを行うためには蒸着室とエッチング室との間でウェハをいったりきたりさせる必要があった。本発明によれば、低圧力のCVD蒸着および切り出し (faceting) がプラズマによるCVDプロセスを用いて同時に行われ、そのプラズマはおよそ50MHz から800MHzの周波数範囲、好ましくはおよそ50MHz からおよそ250MHzまでの周波数範囲で動作する共振回路アンテナにより脱起される。ウェハのバイアスはスパッタ・ファセットを行うために印加される。複雑なマイクロウェーブ、ECR装置を使用したり、蒸着室とエッチング室との間をウェハが行ったりきたりする必要がなくなる。

【0088】さらに、ウェハ形状の平坦化は素子、機能の形態に基づいてスパッタ・エッチング・レートに対するバイアスのない蒸着のレートとの割合を選択することにより行われる。それはウェハを全体的に平坦化するために蒸着プロセスの間に流れる B_2O_3 などの物質の蒸着と組み合わせられる。

(b) HPCVD

1) 均質な等方性窒化プラズマおよびオキシ窒化プラズマ
LPCVDに対応して、本高圧CVD、すなわち均質で、等方性の窒化プラズマおよびオキシ窒化プラズマのプロセスは表面処理層および金属間絶縁などへの適用例が考えられる。LPCVDの対応する適用例に関して説明した条件および化学作用ガスが同様に本例にもあてはまる。HPCVDのプロセスにおいて、バイアス出力は

薄膜密度および圧力を制御するのに用いられる。低位の窒化水素 ($\text{SiH}_4 + \text{N}_2$) および周知のより高位の窒化水素プラズマCシラン+窒化物+アンモニア) のためのプロセスが表Pに要約されている。

【0089】表16は化学作用ガスの中に酸素化合物(酸素若しくは、好ましくは亜酸化窒素)を組み入れることにより、低位の水素含有オキシ窒化物およびより高位のオキシ窒化物の蒸着のために用いられうる。同じ N_2 の流量率がオキシ窒化物および窒化物のために用いられうる。

2)均質な等方性シリコン酸化物

このHPCVDプロセスのための適用例および関連する条件はLPCVDプロセスはすき間を充填するのにより好適であり、HPCVDは段差被覆(ステップ・カバレージ)の適用例にとってより好ましいかもしれないとい

[表1]

酸化物コンタクトウィンドーエッチング

酸化物/ポリ

範 囲

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	300~5000	500~2500	800~2000
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	100~1000	200~1000	400~800
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~	
圧 力 (mt)	<500	1~100	5~50
ウェーハ温度 (°C)	<125	-	-
気体化学組成 (sccm)			
エCHANT	CF=0.1/1~2/1	CH ₄ 30~600	50~300
ドーパント	HF=0.1/1~0.5/1	Ar 30~600	50~300

[表2]

酸化物ビアホールエッチング

酸化物/アルミニウム

範 囲

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	100~5000	300~2500	800~200
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	100~1000	100~500	100~300
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
陰極シース (V)	<300	<200	5~50
圧 力 (mt)	<500	1~100	5~50
ウェーハ温度 (°C)	<125	-	-
気体化学組成 (sccm)			
Etch	CF=0.1/1~2/1 HF=0.1/1~0.5/1	CHF ₃ CF ₄ Ar	50~300 50~300 50~300

[表3]

う点を除いて、LPCVDの対応する点のためのそれらと類似している。本発明のHPCVDプロセスはシリコン化合物(代表的には、シランまたはTEOS(テトラエチルベンゼン環ケイ酸塩: tetraethylorthosilicate 若しくはテトラエチルオキシケイ酸塩: tetraethyloxysilicate))、酸素化合物(代表的には、酸素そのもの、または好ましくは、亜酸化窒素)および、選択的には不活性ガス(代表的にはアルゴン)を含む化学作用ガスを用いる。均質なシリコン酸化物の蒸着のためのHPCVDプロセス全体は表17に要約されている。

【0090】上記の例は代表的なものである。本技術分野の熟練家であれば、様々な均質の等方性および異方性のエッチングを行うためにこれらの例を容易に応用するであろう。

酸化物スパッタエッチング

範 囲

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	300~5000	500~2500	800~2000
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~1000	100~800	100~300
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧 力 (mt)	<500	1~100	1~30
ウェーハ温度 (°C)	-	-	-
気体化学組成 (sccm)			
エCHANT	非反応性	Ar	Ar

〔表4〕

ポリ/酸化物

範 囲

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	200~1500	300~1000	300~750
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~500	0~300	0~200
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
陰極シース (V)	<200	<100	5~100
圧 力 (mt)	<500	1~100	5~50
ウェーハ温度 (°C)	(1) >-40°C (2) <-40°C		

気体化学組成 (sccm)

エッチング (1)	Cl または Br Cl ₂ または HBr または BCl ₃ + Ar	Cl ₂ 50~300 He 50~300 O ₂ 0~20
(2)	F SF ₆ または NF ₃ + アルゴン	SF ₆ 30~300 Ar 30~300

〔表5〕

RIE アルミニウム

範 囲

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	500~1500	600~800	600~800
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	100~400	100~200	100~200
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧 力 (mt)	<500	1~100	5~50
ウェーハ温度 (°C)	<125	-	
気体化学組成 (sccm)			
エッチング	Cl ₂ / BCl ₃	Cl ₂ + BCl ₃	Cl ₂ 30~100 BCl ₃ 30~100
ドーパント	BBr ₃		

〔表6〕

R: Eシリコン

範 囲

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	100~2500	300~700	300~700
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~500	50~200	50~150
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧 力 (mt)	<500	5~50	5~50
ウェーハ温度 (°C)	<125	<100	<75
気体化学組成 (sccm)			
エCHANT	ハロゲン	HBr/SiF ₄ /NF ₃	HBr 30~100 SiF ₄ 0~20 HBr 0~10
ドーパント		He/O ₂	O ₂ 0~10 NF ₃ 0~20

〔表7〕

R: Eタンゲステン

範 囲

パラメータ	1	2
アンテナ電力 (W)	100~2500	200~500
アンテナ周波数 (MHz)	50~800	50~250
バイアス電力 (W)	0~500	0~200
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	5MHz ~ 15MHz
圧 力 (mt)	<500	10~100
ウェーハ温度 (°C)	-	-
気体化学組成 (sccm)		
エCHANT	F	NF ₃ 0~200 SF ₆ 0~200
ドーパント	イナート	Ar 0~200

〔表8〕

異方性R: Eフォトリジスト

範 囲

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	300~2500	300~1500	300~1500
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~500	0~300	0~200
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧 力 (mt)	<500	1~100	5~50
ウェーハ温度 (°C)		<125	<75
気体化学組成 (sccm)			
エCHANT	O	Cl ₂	O ₂ 10~300
ドーパント	F	CF ₄	CF ₄ 0~300

〔表9〕

R: E障壁層

TiW/TiN

	範 囲		
パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	100~2500	300~1000	300~600
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~500	0~200	100~200
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧 力 (mt)	<500	1~100	5~50
ウェーハ温度 (°C)			
気体化学組成 (sccm)			
エッチング	ハロゲン	F+Cl	CF ₄ 0~20 BCl ₃ 10~100 Cl ₂ 0~20

〔表10〕

ライトエッチング

	範 囲	
パラメータ	1	2
アンテナ電力 (W)	100~1000	100~1000
アンテナ周波数 (MHz)	50~800	15~250
バイアス電力 (W)	0~200	0~200
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	5~15MHz
圧 力 (mt)	<500	5~100
ウェーハ温度 (°C)	—	—
気体化学組成 (sccm)		
酸化物	F	CF ₄ 30~120 またはNF ₃ 30~120
ポリ	Cl	Cl ₂ 30~120

〔表11〕

HP等方性酸化物エッチング

	範 囲		
パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	500~5000	500~2500	500~2500
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~500	0~300	0~300
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧 力 (mt)	<500mt	0.5~20torr	0.5~5torr
ウェーハ温度 (°C)	<125	<100	60~75
気体化学組成 (sccm)			
エッチング	F	CF ₄ NF ₃ SF ₆ C ₂ F ₆	CF ₄ 500~2000 またはNF ₃ 500~2000

〔表12〕

フォトレジストストリップ

	範 囲		
パラメータ	1	2	3

	53		54
アンテナ電力 (W)	300~5000	300~2500	300~2500
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~1000	0~1000	0~000
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧力 (mt)	100mt~ 50torr	500mt~ 10torr	500mt~ 5torr
ウェーハ温度 (°C)	<300	<250	100~200
気体化学組成 (sccm)			
エCHANT	O	O ₂ , N ₂ O	O, N ₂ O 50~ 2000
ドーパント	F, N	CF ₄ , NF ₃ SF ₆ , C ₂ F ₆	N ₂ CF ₄ NF ₃ 0~5000 0~500 0~500

〔表13〕

LPプラズマ窒化物付着

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	300~5000	300~2500	300~2500
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~1000	0~600	0~600
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧力 (mt)	<500	<50	<50
ウェーハ温度 (°C)	—	100~500	200~400
気体化学組成 (sccm)	Si&N	SiH ₄ N ₂ NH ₃	30~300 100~1000 0~50

〔表14〕

LPプラズマオキシ窒化物付着

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	300~5000	300~2500	500~2500
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~1000	0~600	0~600
バイアス周波数	10KHz ~ 50MHz	100KHz ~ 30MHz	5~15MHz
圧力 (mt)	<500	<50	<50
ウェーハ温度 (°C)	—	100~500	200~400
気体化学組成 (sccm)	Si N O	SiH ₄ N ₂ O ₂ /N ₂ O	30~300 100~1000 100~1000 0~50
ドーパント		NH ₃	

〔表15〕

LP酸化物付着

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	300~5000	500~2500	1000~2000

55	56		
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~1000	200~1000	200~1000
バイアス周波数	10KHz ~	100KHz ~	5~15MHz
	50MHz	30MHz	
圧力 (mt)	<500	1~100	1~30
ウェーハ温度 (℃)	<500	200~400	300~400
気体化学組成 (sccm)			
	Si	SiH ₄ /TEOS	SiH ₄ 30~100
	N	O ₂ /N ₂ O	O ₂ 30~200
ドーパント	イナート	Ar	Ar 400~800

(表16)

HP酸化物/オキシ窒化物の付着

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	300~5000	300~2500	500~15
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~1000	0~300	0~300
バイアス周波数	10KHz ~	100KHz ~	5~15MHz
	50MHz	30MHz	
圧力 (mt)	>500	500mt~	1~10 torr
		50 torr	
ウェーハ温度 (°C)	—	100~500	200~400
気体化学組成 (sccm)			
窒化物	Si	SiH ₄	30~100
	N	N ₂ O	400~5000
		NH ₃	0~30
オキシ窒化物	Si	SiH ₄	30~100
	N	N ₂	400~5000
	O	N ₂ O	400~5000
		O ₂	—
		NH ₃	0~30

(表17)

HP等角酸化物付着

パラメータ	1	2	3
アンテナ電力 (W)	300~5000	300~2500	500~1500
アンテナ	50~800	50~400	50~250
周波数 (MHz)			
バイアス電力 (W)	0~1000	0~1000	0~1000
バイアス周波数	10KHz ~	100KHz ~	5~15MHz
	50MHz	30MHz	
圧力 (mt)	>500	500mt~	500mt~
		50 torr	10 torr
ウェーハ温度 (°C)	—	100~500	200~400
気体化学組成 (sccm)			
窒化物	Si	SiH ₄ + N ₂ O	30~100 + 200~3000
			SiH ₄ + N ₂ O
	O	TEOS + O ₂	30~100 + 100~1000
			TEOS O ₂
		TEOS + N ₂ O	30~100 + 100~1000

【図3】 接地シールドとアンテナ及びその他のコンポーネントの間の空間的関係を示している。

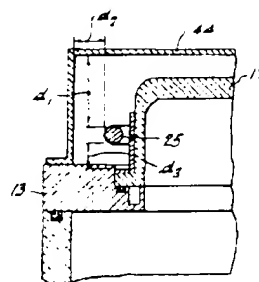
【図4】強化磁場を示す。

【図5】好ましい出力制御システムのブロックダイアグラムである。

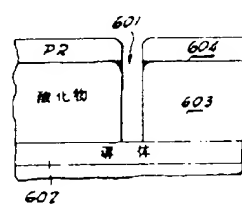
【図6】 代表的なパイヤホール集積回路を示す。

【図7】本発明に従った拡張：一ケタの適用後の図6のバイヤホールを描いている。

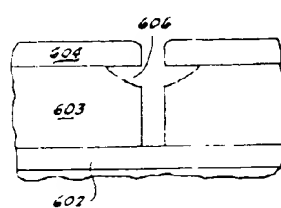
【例 3】



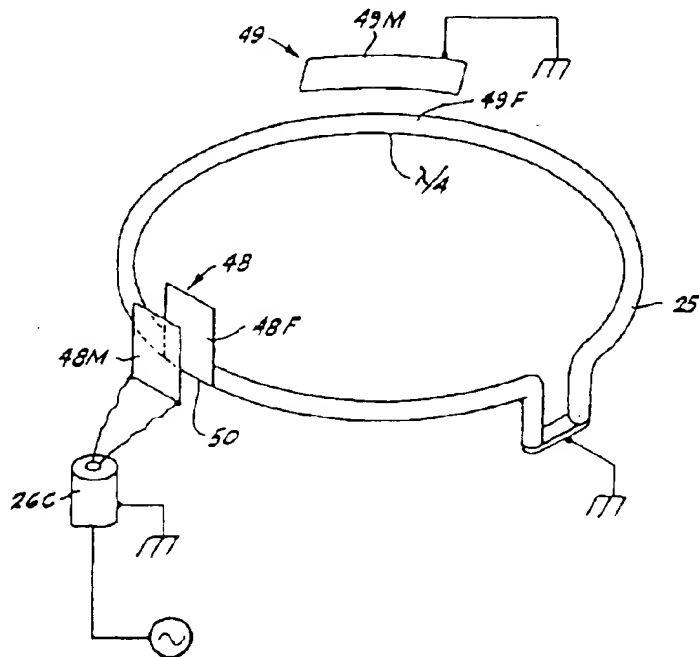
【图 6】



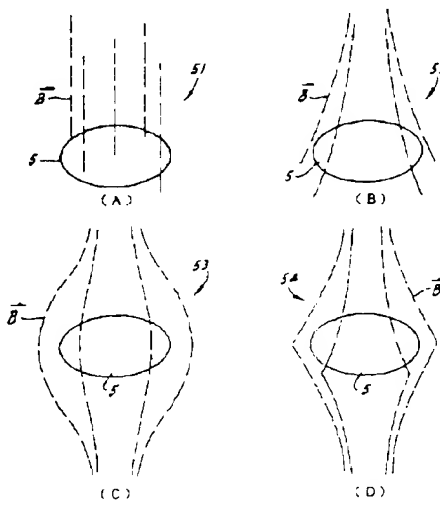
【例 7】



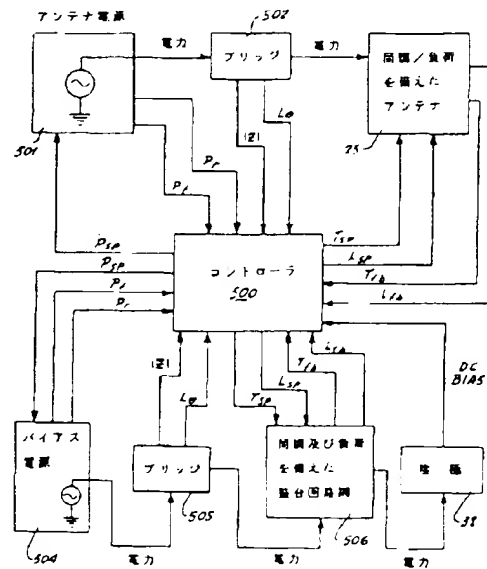
【図2】



【図4】



【図5】



(32)

特開平4-290428

フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁵
H05H 1/46

識別記号 庁内整理番号
9014-2G

F I

技術表示室所